



**Mémoire présenté devant le jury de l'EURIA en vue de l'obtention du  
Diplôme d'Actuaire EURIA**

Le 16 mars 2023

Par : Mathilde Feybesse

Titre : Intégration des enjeux ESG (*Environnement, Social, Gouvernance*) dans la gestion du portefeuille actions d'un assureur.

Confidentialité : Non

*Les signataires s'engagent à respecter la confidentialité indiquée ci-dessus*

***Membre présent du jury de l'Institut***

***des Actuaires :***

Zacharie Guibert

Fabrice Hamon

Signature :

***Entreprise :***

Command Strategy Advisory

Signature :

***Membres présents du jury de l'EURIA : Directeur de mémoire en entreprise :***

Brice Franke

Benjamin Tessiaut

Signature :

***Invité :***

Signature :

***Autorisation de publication et de mise en ligne sur un site de diffusion  
de documents actuariels***

*(après expiration de l'éventuel délai de confidentialité)*

Signature du responsable entreprise :

Signature du candidat :



## Résumé

**Mots clefs:** Gestion de portefeuille, Allocation stratégique actions, Notations ESG, Solvabilité 2, Choc actions, *Clustering*.

Anciennement considérés par certains comme un secteur de niche, les placements ESG (Environnement, Social, Gouvernance) se sont démultipliés jusqu'à représenter plus de 35 000 milliards de Dollars en 2020. Porté par la volonté des investisseurs de repenser leurs stratégies d'investissement, ce secteur est soumis à un contexte réglementaire en pleine mouvance. Premièrement, plusieurs réglementations visent à augmenter la transparence des acteurs financiers sur leurs pratiques et la mise à disposition de l'impact des critères extra-financiers qu'ils observent. Deuxièmement, la Commission Européenne a commencé à intégrer en avril 2021 les risques en matière de durabilité dans la norme prudentielle européenne Solvabilité 2 ; avec des premiers ajustements sur les textes relatifs au Pilier II.

En conséquence, les investissements durables deviennent pour l'assureur un véritable levier de pilotage, requérant l'intégration des critères ESG dans ses stratégies d'investissement au même titre que la performance et le risque.

Pour répondre à ce besoin, il s'agira d'optimiser le triptyque rendement/risque/ESG du portefeuille actions de l'assureur. Il sera notamment proposé de déterminer l'allocation optimale du portefeuille actions en intégrant les critères ESG dans la fonction d'utilité de l'investisseur.

Enfin, un mandat ayant été confié à l'EIOPA concernant d'éventuelles modifications de la formule standard Solvabilité 2 pour prendre en compte le risque de durabilité dans le Pilier I, une approche exploratoire de cette intégration sera menée en faisant appel à des algorithmes de *clustering*, permettant de moduler le choc auquel l'actif est soumis selon sa notation ESG.

## Summary

**Keywords:** Portfolio management, Strategic equity allocation, ESG ratings, Solvency 2, Equity shock, Clustering.

Once considered by some as a niche sector, ESG (*Environment, Social, Governance*) investments have grown to represent more than 35,000 billion dollars in 2020. Driven by investors' desire to rethink their investment strategies, this sector is subject to a rapidly changing regulatory environment. Firstly, several regulations aim to increase the transparency of financial actors on their practices and the availability of the impact of the extra-financial criteria they observe. Secondly, the European Commission has started to integrate sustainability risks into the European prudential standard Solvency 2 in April 2021, with initial adjustments to the texts relating to Pillar II.

As a result, sustainable investments are becoming a strategic lever for insurers, requiring the integration of ESG criteria into their investment strategies in the same way as performance and risk.

To meet this need, the aim will be to optimize the return/risk/ESG triptych of the insurer's equity portfolio. In particular, it will be proposed to determine the optimal allocation of the equity portfolio by integrating ESG criteria into the investor's utility function.

Finally, a mandate has been given to EIOPA concerning possible modifications of the Solvency 2 standard formula to take into account the sustainability risk in Pillar I, an exploratory approach of this integration will be carried out by using clustering algorithms, allowing to modulate the shock to which the asset is subjected according to its ESG rating.

# Remerciements

Je souhaiterais, en premier lieu, remercier mon tuteur d'entreprise Benjamin Tessiaut, pour son encadrement et sa disponibilité tout au long de l'écriture de ce mémoire.

J'ai également une pensée pour les équipes de CSA, notamment Samy Mekkaoui, Charles Toulza et Marius Hounnande pour les discussions pertinentes que l'on a pu avoir autour du sujet de ce mémoire et leur aide.

Ensuite, je souhaiterais adresser mes remerciements à Wassim Youssef, mon tuteur académique pour ses conseils.

De plus, je voudrais remercier l'ensemble du corps enseignant de l'EURIA, pour les connaissances qu'ils m'ont transmises.

Enfin, j'ai une pensée particulière pour mes proches, pour leur soutien et leur bienveillance.

# Note de synthèse

## **Contexte financier et cadre réglementaire**

Suite à la mise en évidence du réchauffement climatique et à la prise de conscience collective, la finance durable s'est largement développée ces dernières années.

Si les institutions financières ont pour objectif d'intégrer des problématiques environnementales, sociales et de gouvernance (ESG) dans leurs approches, les analyses financières traditionnelles ne permettent pas de capter l'ensemble des risques et opportunités de ces investissements. Pour palier cela, il s'agit alors de quantifier le risque ESG au travers d'une notation se basant sur des critères extra-financiers, permettant aux investisseurs d'intégrer ces enjeux dans leurs stratégies d'investissements.

Afin d'engager les acteurs à orienter leurs capitaux vers des investissements ESG, le contexte réglementaire a évolué ces dernières années, principalement à la suite de l'Accord de Paris en 2015. Aussi, à travers différents textes, la Commission Européenne a construit un cadre réglementaire basé sur 3 éléments : une taxonomie propre à l'Union Européenne ; la transparence des informations en termes de durabilité ; et des outils, permettant l'élaboration de solutions d'investissement durable.

En complément du cadre réglementaire en matière de finance durable axé sur ces 3 éléments, le cadre réglementaire spécifique à l'assurance a été complété afin d'intégrer les risques de durabilité dans les décisions d'investissement. De fait, le Pilier 2 de la norme Solvabilité 2 a été modifié, exigeant des assureurs qu'ils incluent les risques de durabilité dans la gouvernance de leurs entreprises et dans le principe de la « personne prudente ». De plus, dans le cadre de la révision de la directive Solvabilité 2, un mandat a été confié à l'EIOPA sur l'intégration des risques de durabilité dans le pilier I de la norme, afin d'indiquer quels aspects du calibrage du module de risque de la formule standard n'intègre pas assez le risque de durabilité, et dans quelle mesure ce calibrage est à ajuster.

## **Intégration des enjeux ESG dans l'optimisation d'un portefeuille actions**

Le développement des réglementations de plus en plus exigeantes en matière de durabilité entraîne les assureurs à faire évoluer leurs stratégies d'investissements.

Ainsi, ce mémoire propose d'intégrer les enjeux ESG dans le processus d'allocation du

portefeuille actions de l'assureur, et ce au même titre que le rendement et le risque. Il sera proposé une fonction d'utilité de l'investisseur intégrant les notations ESG afin de :

1. Déterminer l'allocation optimale d'un portefeuille selon le triptyque rendement / risque / ESG ;
2. Déterminer l'allocation optimale d'un portefeuille selon le triptyque rendement / risque / ESG et en minimisant la dispersion de ses notes ESG.

Pour ce faire, il s'agit d'inclure les notations ESG dans la fonction d'utilité de l'investisseur :

$$U_{1,i}(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 + \lambda g_i(\overline{esg})$$

où :

- $g_i : [0, N] \rightarrow \mathbb{R}^+$  est la fonction de *green appetite*, traduisant l'impact de la notation ESG dans la fonction d'utilité en fonction de  $i$ , l'intérêt pour les enjeux ESG de l'investisseur. Dix profils sont définis, le profil 1 n'accordant aucun intérêt aux enjeux ESG et le profil 10 en accordant le plus.
- $\lambda \in \mathbb{R}^+$  le coefficient de *green appetite*, permettant d'ajuster l'homogénéité des variables.

L'optimisation intégrant les enjeux ESG est réalisée sur un portefeuille constitué des actifs composant le CAC 40 au 1<sup>er</sup> juillet 2022.

A rendement équivalent au portefeuille optimal initial, l'investisseur verra la notation ESG du portefeuille s'améliorer avec l'importance qu'accorde son profil aux enjeux ESG. En contrepartie, la volatilité du portefeuille sera augmentée.

	Rendement	Volatilité	ESG	Ratio de Sharpe
Sans ESG	0.08441	0.154493	20.616951	0.546366
i=2	0.08441	0.154703	19.373201	0.545626
i=3	0.08441	0.155362	18.051995	0.543310
i=4	0.08441	0.156346	16.852121	0.539890
i=5	0.08441	0.157276	16.018405	0.536699
i=6	0.08441	0.157626	15.774520	0.535506
i=7	0.08441	0.158048	15.535369	0.534076
i=8	0.08441	0.158613	15.268484	0.532175
i=9	0.08441	0.159409	14.941211	0.529517
i=10	0.08441	0.160323	14.608066	0.526498

TABLE 1 – Volatilité, note ESG et ratio de Sharpe pour un rendement équivalent au rendement du portefeuille optimal initial

Il reviendra alors à l'investisseur de réaliser un arbitrage entre :

- Avoir un portefeuille à meilleure volatilité au détriment de la note ESG ;
- Avoir un portefeuille à meilleure note ESG au détriment de la volatilité.

Ce compromis entre risque financier et extra-financier est facilité par l'échelonnage des allocations optimales en fonction du profil d'intérêt aux enjeux ESG de l'investisseur, lui permettant notamment de juger de sa capacité à intégrer l'ESG dans sa stratégie.

Dans un second temps, afin de prendre en compte le biais que représente la dispersion des notations ESG des actifs composant le portefeuille au-dessus<sup>1</sup> de la moyenne de celui-ci, la fonction d'utilité proposée sera ajustée d'un coefficient de variation :

$$U_{2,i}(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 + \lambda g_i(\overline{esg} + cv_{esg})$$

où  $cv_{esg} = \frac{\sigma^+(esg)}{100 - \overline{esg}}$ ,  $\forall \overline{esg} \in [0, 100[$  avec  $\sigma^+(esg)$  l'écart-type des notes ESG à la hausse.

Il revient à l'investisseur d'apprécier l'importance accordée au biais de la dispersion des notations de risque ESG au-dessus de la moyenne.

Par rapport à l'utilisation de la fonction d'utilité  $U_{1,i}$ , l'intégration proposée dans l'étude d'un coefficient de variation basé sur l'écart-type à la hausse des notations dans la fonction d'utilité entraîne une amélioration supérieure de la note ESG du portefeuille, en contrepartie d'une volatilité augmentée ; rapportant l'investisseur à l'arbitrage évoqué ci-dessus.

## Intégration de l'ESG dans le choc actions

Dans l'optique d'intégrer les enjeux ESG dans le Pilier 1, la Commission Européenne a mandaté l'EIOPA concernant d'éventuelles modifications de la formule standard Solvabilité 2 pour prendre en compte le risque de durabilité. Entre autres, il est question de déterminer si le choc actions pourrait être modulé selon la notation ESG des titres.

Pour répondre à ces questions, la stratégie suivante est mise en place, sur les composantes de l'indice Stoxx Europe 600 :

1. Calcul de mesure de risque sur chacun des actifs (VaR, CVaR, Max Drawdown) ;
2. Regroupement des actifs selon des catégories de notes ESG permettant de définir la notion d'actif « vert » ou « brun » ;
3. Calcul - pour chaque catégorie de notes ESG - de la moyenne de la mesure de risque des actifs composant cette catégorie.

La démarche propose d'abord de réaliser une segmentation du spectre de notation ESG en plusieurs groupes, permettant de qualifier un actif de « vert » ou de « brun » :

- Les catégories Sustainalytics, basées sur des seuils de risque fournis par celui-ci. Néanmoins, cette approche présente le risque d'exposer l'analyse à des effets de seuils ainsi qu'à une répartition des actifs déséquilibrée.
- Un regroupement en 1 dimension, basé sur la notation de risque ESG des actifs, grâce à l'algorithme de Jenks. Cependant, la note ESG globale d'un actif étant une agrégation de trois notes (E, S et G), cette approche peut être exposée au biais de

---

1. Dans le cas de l'échelle de notation du risque ESG Sustainalytics

considérer que deux actifs sont équivalents alors que les notations sous-jacentes sont hétérogènes.

- Un regroupement en 3 dimensions, basé sur les notations de risques E, S et G des actifs, à l'aide de l'algorithme des *k-moyenne*. Cette méthode permet de distinguer plus finement les risques auxquels sont exposés les actifs.

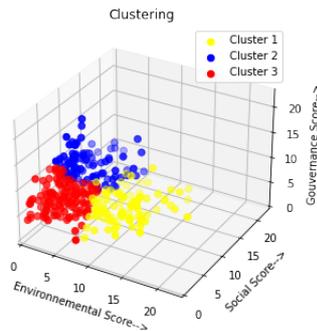


FIGURE 1 – Répartition des notations selon les notes E, S et G

Les mesures de risque calculées sur chacun des regroupements de données, permettent de mettre en exergue que :

- Les actifs ayant des notes ESG meilleures ont un risque financier réduit ;
- Les actifs ayant des notes ESG moins bonnes ont un risque financier plus élevé.

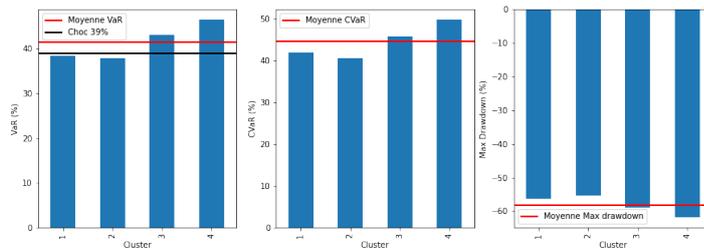


FIGURE 2 – VaR, CVaR et Max Drawdown par catégorie Sustainalytics

Aussi, cette conclusion permet de justifier l'ajustement du choc actions en fonction de la notation ESG en considérant qu'un actif « vert » (*resp.* « brun ») va avoir un choc réduit (*resp.* supérieur) par rapport au choc action initial de la formule standard de 39%.

Cluster	Choc ajusté
1	36.131266
2	35.597967
3	40.523564
4	43.747203

FIGURE 3 – Choc action ajusté à la note ESG (en %) par catégorie Sustainalytics

En outre, dans le but de quantifier l'impact que peut avoir la répartition des notations des actifs sur le choc actions ajusté d'un portefeuille, 5 portefeuilles témoins sont considérés :

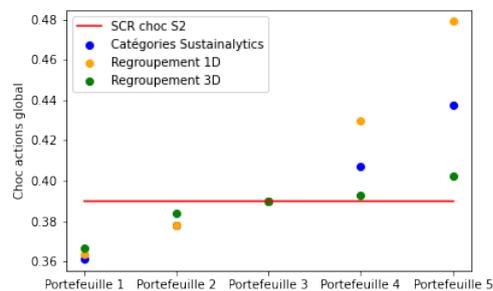


FIGURE 4 – Choc actions des 5 portefeuilles témoins

Les résultats montrent que si les différents regroupements mènent à des résultats assez proches pour les meilleures notes ESG, ceux-ci sont significativement différents dès lors que le portefeuille tend à avoir des notes ESG dégradées.

Ce phénomène s'explique par la distribution des VaR des actifs composant l'indice utilisé comme référence pour le calibrage de nos chocs.

De fait, l'importance à accorder aux notations et aux regroupements de données est à souligner.

Finalement, selon la méthodologie adoptée, ces résultats illustrent que moins choquer les actifs « verts » pourrait pousser l'investisseur non seulement à moduler son portefeuille afin d'améliorer sa note ESG globale, mais potentiellement à améliorer la notation ESG de chacun des actifs du portefeuille (voire, n'intégrer dans ses portefeuilles que des actifs avec de bonnes notations).

Selon la marche à suivre qui sera adoptée, le régulateur sera ainsi en mesure d'influencer les allocations des investisseurs institutionnels sur ces aspects extra-financiers.

# Synthesis note

## **Financial context and regulatory framework**

As a result of global warming and collective awareness, sustainable finance has been widely developed in recent years.

While financial institutions aim to integrate environmental, social and governance (ESG) issues into their approaches, traditional financial analyses do not allow for the capture of all the risks and opportunities of these investments. In order to overcome this, it is necessary to quantify the ESG risk through a rating based on extra-financial criteria, allowing investors to integrate these issues into their investment strategies.

In order to commit actors to directing their capital towards ESG investments, the regulatory context has largely evolved in recent years, mainly following the 2015 Paris Agreements. Through various texts, the European Commission has built a regulatory framework based on three elements : a taxonomy specific to the European Union ; transparency of information in terms of sustainability ; and tools, allowing the development of sustainable investment solutions.

In addition to the regulatory framework for sustainable finance based on these 3 elements, the specific regulatory framework for insurance has been completed in order to integrate sustainability risks in investment decisions. In fact, Pillar 2 of the Solvency 2 standard has been modified, requiring insurers to include sustainability risks in their governance and in the "prudent person" principle. More over, as part of the revision of the Solvency 2 directive, EIOPA has been given a mandate to integrate sustainability risks into Pillar 1 of the standard, to indicate which aspects of the calibration of the risk module of the standard formula do not sufficiently integrate sustainability risk, and to what extent this calibration should be adjusted.

## **Integration of ESG issues in the optimization of an equity portfolio**

The development of restrictive regulations on sustainability is leading insurers to adapt their investment strategies.

Thus, this thesis proposes to integrate ESG issues in the allocation process of the insurer's equity portfolio, in the same way as return and risk. An investor utility function

integrating ESG ratings will be proposed in order to :

1. Determine the optimal allocation of a portfolio according to the triptych return / risk / ESG triptych ;
2. Determine the optimal allocation of a portfolio according to the triptych return / risk / ESG triptych and minimizing the dispersion of its ESG scores.

To do this, we include ESG ratings in the investor's utility function :

$$U_{1,i}(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 + \lambda g_i(\overline{esg})$$

where :

- $g_i : [0, N] \rightarrow \mathbb{R}^+$  the *green appetite* function, transposing the impact of the ESG rating in the utility function as a function of  $i$ , the investor's interest in ESG issues. Ten profiles are defined, with the profile 1 showing no interest in ESG issues and the 10 profile showing the most interest.
- $\lambda \in \mathbb{R}^+$  the *green appetite* coefficient, allowing to adjust the homogeneity of the variables.

The optimization integrating ESG issues is achieved on a portfolio based of the assets composing the CAC 40 as of July 1, 2022.

With a return equivalent to the initial optimal portfolio, the more interest the investor pays to ESG issues, the more the ESG rating of the portfolio will improve. In exchange, the portfolio's volatility will increase.

	Rendement	Volatilité	ESG	Ratio de Sharpe
<b>Sans ESG</b>	0.08441	0.154493	20.616951	0.546366
<b>i=2</b>	0.08441	0.154703	19.373201	0.545626
<b>i=3</b>	0.08441	0.155362	18.051995	0.543310
<b>i=4</b>	0.08441	0.156346	16.852121	0.539890
<b>i=5</b>	0.08441	0.157276	16.018405	0.536699
<b>i=6</b>	0.08441	0.157626	15.774520	0.535506
<b>i=7</b>	0.08441	0.158048	15.535369	0.534076
<b>i=8</b>	0.08441	0.158613	15.268484	0.532175
<b>i=9</b>	0.08441	0.159409	14.941211	0.529517
<b>i=10</b>	0.08441	0.160323	14.608066	0.526498

TABLE 2 – Volatility, ESG score and Sharpe ratio for return equivalent to the initial optimal portfolio

It will then be up to the investor to make a trade-off between :

- Having a portfolio with better volatility at the expense of the ESG rating ;
- Having a portfolio with a better ESG rating at the expense of volatility.

This compromise between financial and extra-financial risk is facilitated by the scaling of optimal allocations according to the investor's interest in ESG issues, allowing him to judge his ability to integrate ESG into his strategy.

In a second step, in order to consider the bias represented by the upside dispersion of the ESG ratings of the assets composing the portfolio, the defined utility function will be adjusted by a variation coefficient :

$$U_{2,i}(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 + \lambda g_i(\overline{esg} + cv_{esg})$$

where  $cv_{esg} = \frac{\sigma^+(esg)}{100-\overline{esg}}$ ,  $\forall \overline{esg} \in [0, 100[$  with  $\sigma^+(esg)$  the upside standard deviation of ESG ratings.

It is up to the investor to assess the importance given to the ESG ratings upside dispersion bias.

Compared to the use of the utility function  $U_{1,i}$ , the proposed inclusion of a coefficient of variation based on the upside standard deviation of the ratings leads to a greater improvement in the ESG rating of the portfolio, in exchange for increased volatility ; leading the investor to the same trade-off as mentioned above.

## Integration of ESG in the equity shock

With a view to integrating ESG issues into Solvency 2 Pillar 1, the European Commission has mandated the EIOPA regarding possible modifications of the standard formula to consider sustainability risk. Among other things, it is a question of determining whether the equity shock could be modulated according to the ESG rating of securities.

To answer these questions, the following strategy is implemented, on the components of the Stoxx Europe 600 index :

1. Calculation of risk measures for each asset (VaR, CVaR, Max Drawdown) ;
2. Grouping of assets according to ESG rating categories to define the notion of « green » or « brown » assets ;
3. Calculation - for each ESG rating category - of the average risk measurement of the assets in that category.

The approach first proposes to segment the ESG rating spectrum into several groups, allowing an asset to be classified as « green » or « brown », based on the following :

- Sustainability categories, based on the provider's risk thresholds. However, this approach undertakes the risk of exposing the analysis to threshold effects and an unbalanced assets distribution.
- A 1-dimensional grouping based on the ESG risk rating of assets, using the Jenks algorithm. However, since the overall ESG rating of an asset is an aggregation of three ratings (E, S and G), this approach may be exposed to the bias of considering equivalent two assets when the underlying ratings are heterogeneous.
- A 3-dimensional grouping, based on the E, S and G risk ratings of the assets, using the *k-mean* algorithm. This method makes it possible to distinguish more finely the risks to which the assets are exposed.

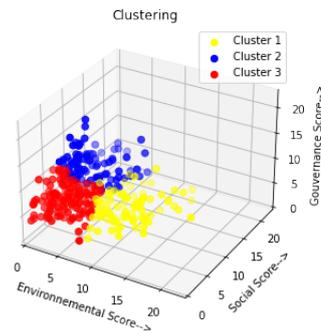


FIGURE 5 – Distribution of ratings according to E, S & G scores

The risk measures computed on each of the data groupings highlight that :

- Assets with better ESG ratings have reduced financial risk ;
- Assets with lower ESG ratings have higher financial risk.

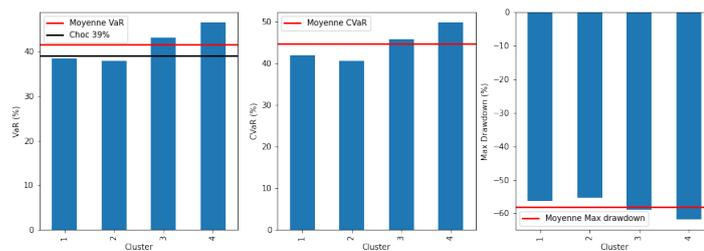


FIGURE 6 – VaR, CVaR and Max Drawdown by Sustainalytics categories

Also, this conclusion makes it possible to justify the adjustment of the equity shock according to the ESG rating by considering that a « green » asset (*resp.* « brown ») will have a reduced shock (*resp.* higher) compared to the initial equity shock of the standard formula of 39%.

Cluster	Choc ajusté
1	36.131266
2	35.597967
3	40.523564
4	43.747203

FIGURE 7 – ESG-adjusted equity shock (in %) by Sustainalytics category

In order to quantify the impact of the ESG rating dispersion on the ESG-adjusted equity

shock, 5 mock portfolios are considered.

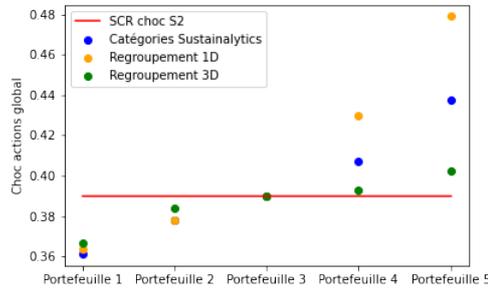


FIGURE 8 – Equity shock of 5 mock portfolios

The results show that while the results are quite similar when the ESG ratings are good, the different grouping methodologies lead to very different results when the portfolio tends to have deteriorated ESG ratings.

This phenomenon can be explained by the distribution of the VaR of the assets composing the index used as a reference for the shock calibration.

This underlines how the choices of the scores and the clustering approach are important.

Finally, depending on the chosen methodology, these results illustrate that lower shocks on « green » assets could lead investors not only to modulate their portfolio in order to improve their average ESG rating, but potentially to improve the ESG rating of each of the assets in the portfolio (or even to integrate only assets with good ratings into their portfolios).

Depending on this, the regulator will therefore be able to influence institutional investors' allocations on these extra-financial aspects.

# Table des matières

<b>Résumé</b>	<b>i</b>
<b>Remerciements</b>	<b>iii</b>
<b>Note de synthèse</b>	<b>iv</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>1 Contexte financier : l'émergence de la finance durable</b>	<b>3</b>
1.1 Emergence de la finance durable . . . . .	3
1.2 Les notions ESG . . . . .	7
1.2.1 Le risque ESG . . . . .	7
1.2.2 Les critères ESG . . . . .	8
1.3 Evaluation des critères extra-financier . . . . .	8
1.3.1 Cas des actifs cotés . . . . .	9
1.3.2 Cas des actifs non cotés . . . . .	12
1.4 Les stratégies d'investissement durable . . . . .	14
1.5 Quelles sont les valeurs ajoutées des actifs ESG? . . . . .	15
<b>2 Contexte réglementaire : environnement réglementaire ESG et Solvabilité II</b>	<b>18</b>
2.1 La réglementation ESG . . . . .	19
2.1.1 A l'échelle internationale . . . . .	19
2.1.2 A l'échelle européenne . . . . .	20
2.1.3 A l'échelle nationale . . . . .	25
2.2 Présentation de la norme Solvabilité 2 . . . . .	26
2.2.1 Pilier 1 . . . . .	27
2.2.2 Pilier 2 . . . . .	30
2.2.3 Pilier 3 . . . . .	31
2.3 Révision de la Solvabilité 2 . . . . .	32
2.3.1 Avis technique et opinion de l'EIOPA . . . . .	33
2.3.2 Modification du règlement délégué . . . . .	35
2.3.3 Proposition de directive en vue de la révision de la directive Solvabilité 2 . . . . .	36

<b>3</b>	<b>Intégration des enjeux ESG dans l'optimisation d'un portefeuille actions</b>	<b>38</b>
3.1	Définitions financières et théorie moderne du portefeuille . . . . .	39
3.1.1	Quelques rappels de définitions financières . . . . .	39
3.1.2	La théorie moderne de portefeuille . . . . .	42
3.1.3	L'utilité de l'investisseur . . . . .	45
3.2	L'intégration des enjeux ESG dans l'utilité de l'investisseur . . . . .	47
3.2.1	Définition de la fonction d'utilité intégrant les enjeux ESG . . . . .	47
3.2.2	Application . . . . .	51
3.3	Réduction de la dispersion des notes ESG du portefeuille . . . . .	61
3.3.1	Dispersion des notes ESG : un biais pour l'investisseur . . . . .	62
3.3.2	L'impact de la dispersion des notes ESG d'un portefeuille sur la fonction d'utilité . . . . .	63
3.3.3	Application . . . . .	65
	Conclusion du chapitre 3 . . . . .	67
<b>4</b>	<b>Intégration de l'ESG dans le choc actions</b>	<b>69</b>
4.1	Zoom sur le sous-module « risque sur actions » . . . . .	70
4.1.1	La formule standard . . . . .	70
4.1.2	La méthodologie EIOPA . . . . .	72
4.2	Détermination du choc action ajusté à la note ESG . . . . .	73
4.2.1	Les données . . . . .	74
4.2.2	Les mesures de risque . . . . .	75
4.2.3	Regroupement d'actifs en catégories de notes ESG . . . . .	79
4.2.4	Détermination de profils de risques en fonction de la notation ESG . . . . .	86
4.2.5	Ajustement du choc actions en fonction de la notation ESG . . . . .	92
4.3	Application sur les portefeuilles . . . . .	94
4.3.1	Exemple d'application sur les portefeuilles de l'étude . . . . .	94
4.3.2	Impact de la répartition ESG d'un portefeuille sur le choc actions . . . . .	97
	Conclusion du chapitre 4 . . . . .	100
	<b>Conclusion</b>	<b>103</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>106</b>
	<b>Liste des figures</b>	<b>108</b>
	<b>Liste des tableaux</b>	<b>110</b>
	<b>Liste des symboles</b>	<b>111</b>
	<b>Annexes</b>	<b>112</b>



# Introduction

Adopté le 12 décembre 2015 par 196 Parties lors de la COP 21 à Paris, avec une entrée en vigueur le 4 novembre 2016 ; l'Accord de Paris (traité international juridiquement contraignant sur les changements climatiques) a pour objectif de :

- « *Conten[ir] l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels, étant entendu que cela réduirait sensiblement les risques et les effets des changements climatiques ;*
- *Rend[re] les **flux financiers** compatibles avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques. »*

Ces objectifs mènent les enjeux notamment environnementaux et écologiques mais également sociaux et gouvernementaux à être au coeur des discussions chez les assureurs.

Ce mémoire aura donc pour but d'appréhender les différents enjeux pour un assureur à intégrer les critères extra-financiers dans la gestion de son portefeuille actions, notamment au travers de notations de risques ESG.

Dans un premier temps, le chapitre 1 permettra de définir la finance durable et son risque associé - le risque ESG, ainsi que son évaluation. Il sera montré que si les investissements durables tendent à être inclus progressivement dans les décisions d'investissement, les acteurs sont partagés quant à leurs bienfaits sur le rendement et le risque.

Dans un second temps, le chapitre 2 détaillera la réglementation régissant les enjeux de la finance durable. En outre, si l'intégration de la durabilité dans la norme prudentielle Solvabilité 2 est déjà entamée à travers le Pilier 2 ; plusieurs mandats donnés à l'EIOPA ont pour objectif de poursuivre cette intégration au sein du Pilier I.

Ensuite, le chapitre 3 proposera d'intégrer les enjeux ESG au sein des stratégies d'investissements des assureurs, au même titre que la performance et le risque. Pour ce faire, sera présenté une généralisation de la théorie moderne du portefeuille de Markowitz, en

y intégrant les enjeux ESG.

Finalement, un mandat ayant été confié à l'EIOPA concernant d'éventuelles modifications de la formule standard Solvabilité 2 pour prendre en compte le risque de durabilité dans le Pilier I, le chapitre 4 présentera une approche exploratoire de cette intégration sur le choc actions.

# Chapitre 1

## Contexte financier : l'émergence de la finance durable

### 1.1 Emergence de la finance durable

#### Prise de conscience sociétale et bref historique

Au 20<sup>e</sup> siècle, les observations et études de scientifiques du monde entier ont permis de mettre en évidence le réchauffement climatique. Ce terme apparaît ainsi pour la première fois en 1975 dans la revue *Science*, inventé par le climatologue Wallace Broecker [1].

Cependant, il faudra attendre les années 90 pour une prise de conscience massive de la société et de la sphère politique à propos du changement climatique ; suite à la publication du *GIEC*<sup>1</sup> établissant la responsabilité des humains dans la production de gaz à effet de serre.

Sur la place financière, l'intégration de ces problématiques ne commence réellement qu'au début des années 2000. Les acteurs de marché prennent conscience qu'ils ont un rôle à jouer en faveur du développement durable et des enjeux longs termes. Entre autres, les institutions financières ont cherché à responsabiliser leurs investissements et à y intégrer une démarche éthique.

Ainsi, depuis le début du 21<sup>ème</sup> siècle, les organisations et les réglementations, incitant les acteurs financiers à se pencher sur le sujet de la finance durable, se sont largement développées :

- En 1997, le *Protocole de Kyoto* fait naître les premiers mécanismes financiers liés à la réduction des émissions carbone.
  
- En 2000, le *Carbon Disclosure Project* permet de mesurer les empreintes environnementales des Etats et des entreprises, devenant une organisation pionnière sur le plan de la transparence.

---

1. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

- La même année, le secrétaire général des Nations Unies Kofi Annan, a lancé le *United Nations Global Compact* qui avait pour objectif d'inciter les entreprises à fonctionner de manière plus durable et faire croître la responsabilité d'entreprise.
- Quelques années plus tard, en 2004, une initiative menée par le *UN Global Compact* fait appel à une cinquantaine des plus grandes institutions financières pour trouver un moyen d'intégrer des principes d'environnement, de social et de gouvernance des entreprises dans les marchés de capitaux. Le terme **ESG** fait finalement son apparition pour la 1ère fois dans le rapport de cette initiative « Who cares wins », publié par l'*International Finance Corporation*.
- À la suite de ces évènements, l'Organisation des Nations Unies met en place l'association *United Nations Principles for Responsible Investments* (UNPRI) en 2006, qui incite les institutions financières à intégrer les facteurs d'ESG dans leurs investissements.
- Presque 10 ans plus tard, en 2015, lors de la COP21<sup>2</sup>, les Accords de Paris sont adoptés par 196 parties, ayant pour objectif de limiter à un niveau inférieur à 2°C le réchauffement climatique. Cet accord appelle à un « alignement des flux financiers avec les objectifs climatiques », rendant officiel et soulignant l'importance du rôle des acteurs financiers dans la lutte contre le réchauffement climatique.

Finalement, bien que la finance durable existe depuis une vingtaine d'année, son essor est consécutif aux Accords de Paris.

La notion d'**investissement durable** apparaît alors. Elle est définie dans le règlement Disclosure (cf 2.1.2) comme « *un investissement dans une activité économique qui contribue à un objectif environnemental, mesuré par exemple au moyen d'indicateurs clés en matière d'utilisation efficace des ressources concernant l'utilisation d'énergie, d'énergies renouvelables, de matières premières, d'eau et de terres, en matière de production de déchets et d'émissions de gaz à effet de serre ou en matière d'effets sur la biodiversité et l'économie circulaire, ou un investissement dans une activité économique qui contribue à un objectif social, en particulier un investissement qui contribue à la lutte contre les inégalités ou qui favorise la cohésion sociale, l'intégration sociale et les relations de travail, ou un investissement dans le capital humain ou des communautés économiquement ou socialement défavorisées, pour autant que ces investissements ne causent de préjudice important à aucun de ces objectifs et que les sociétés dans lesquels les investissements sont réalisés appliquent des pratiques de bonne gouvernance, en particulier en ce qui concerne des structures de gestion saines, les relations avec le personnel, la rémunération du personnel compétent et le respect des obligations fiscales* ».

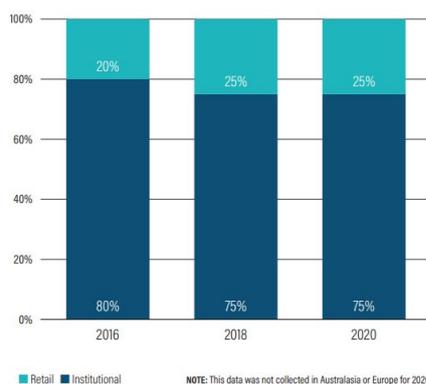
---

2. Conference of the Parties.

## Un intérêt partagé par les investisseurs particuliers

Le désir d'investissements durables s'est également étendu des investisseurs institutionnels aux investisseurs particuliers. Comme le montre ce graphique<sup>3</sup>, l'intérêt pour les investissements durables des investisseurs particuliers s'est développé de façon croissante au cours des dernières années :

FIGURE 9 Global shares of institutional and retail sustainable investing assets 2016-2020



En 2016 en France, le Ministère de l'Economie et des Finances a créé le label *ISR* – *Investissement Socialement Responsable*<sup>4</sup> qui permet de distinguer les fonds<sup>5</sup>, pour ceux ayant le label, qui appliquent une démarche d'investissement responsable.

Ainsi, en investissant dans un fonds labellisé *ISR*, les investisseurs ont la possibilité de choisir un ou plusieurs enjeux sur le(s)quel(s) le fonds s'engage à contribuer (e.g. la protection de la planète, la cohésion sociale, la bonne gouvernance des entreprises, ...).

Dans le cas de fonds immobilier, le label peut distinguer par exemple les fonds qui financent des rénovations de bâtiments permettant une meilleure performance énergétique. Néanmoins, et bien qu'étant une première avancée, le label *ISR* peut être exposé à de sévères biais, que ce soit à travers la transparence limitée des indicateurs agrégés permettant de suivre les engagements pris par les sociétés sous-jacentes ou le fonds lui-même, ou encore le fait qu'un fonds peut bénéficier du label *ISR* de par son engagement dans un combat spécifique, pouvant être mené au détriment d'autres sujets tout aussi importants (par exemple, financement de travaux de recherche dans le développement durable au sein d'une société dont les disparités de salaire entre femmes et hommes sont conséquentes).

3. Source : *Global Sustainable Investment Alliance*

4. Des informations supplémentaires sont disponibles sur le site gouvernemental du label *ISR* : <https://www.lelabelisr.fr/>.

5. Le label *ISR* est accordé à des OPCVM, à des fonds alternatifs (FIA) ou encore à des fonds immobiliers (SPCI ou OPCI).

## Métriques des investissements durables

Anciennement considéré par certains comme un secteur de niche, les placements ESG se sont démultipliés. En effet, d'après la revue 2020 du *Global Sustainable Investment Alliance*<sup>6</sup> [2], les investissements durables représentent actuellement plus de 35 000 milliards de Dollars - ce qui équivaut à plus d'un tiers du total des actifs sous gestion mondiaux - et ceux-ci ont augmenté d'environ 55% sur les années 2016 à 2020.

FIGURE 1 Snapshot of global sustainable investing assets, 2016-2018-2020 (USD billions)

REGION	2016	2018	2020
Europe*	12,040	14,075	12,017
United States	8,723	11,995	17,081
Canada	1,086	1,699	2,423
Australasia*	516	734	906
Japan	474	2,180	2,874
<b>Total (USD billions)</b>	<b>22,839</b>	<b>30,683</b>	<b>35,301</b>



FIGURE 2 Snapshot of global assets under management 2016-2018-2020 (USD billions)

REGIONS	2016	2018	2020
Total AUM of regions	81,948	91,828	98,416
Total sustainable investments only AUM	22,872	30,683	35,301
% Sustainable investments	27.9%	33.4%	35.9%
<b>Increase of % sustainable investments</b> (compared to prior period)		<b>5.5%</b>	<b>2.5%</b>



FIGURE 1.1 – Volume d'investissements durables au niveau mondial

Les Américains sont *leaders* sur le marché des actifs durables, devançant de plus de 5 000 milliards de Dollars les européens. Ainsi, les actifs durables européens représentent 34% du total des actifs durables, contre 48% aux Etats-Unis. Ces investissements sont largement moins rependus dans le reste du monde, comptant 7% pour le Canada, 3% pour l'Australie/Nouvelle-Zélande et 8% pour le Japon.

Il faut cependant regarder avec précaution les chiffres concernant l'Europe, la réglementation en vigueur y étant plus restrictive (pour classer les investissements en investissements durables) que dans le reste du monde. Ceci explique entre autres pourquoi le volume d'investissements durables a baissé en Europe de 2018 à 2020.

Bien que les institutions financières aient pour objectif d'intégrer des problématiques de développement durable dans leurs approches, les analyses financières traditionnelles ne permettent pas de capter l'ensemble des risques et opportunités de ces investissements.

Pour cette raison, des critères extra-financiers – i.e. des critères ne s'appuyant pas uniquement sur les résultats comptables et économiques – ont été intégrés à des politiques

6. Collaboration d'organisations d'investissement durable à travers le monde dont la mission est de renforcer l'impact et la visibilité des organisations d'investissement durable.

d'investissement d'actifs.

## 1.2 Les notions ESG

Les critères *Environnement, Social & Gouvernance - ESG* permettent d'évaluer une entreprise autrement qu'avec des critères financiers usuels. Ils s'appuient sur des facteurs extra-financier pour prendre en compte le développement durable et analyser les enjeux long termes dans la stratégie d'une entreprise. Ces critères permettent en outre de compléter le profil de l'émetteur.

### 1.2.1 Le risque ESG

Le risque ESG – Environnemental Social et Gouvernance<sup>7</sup> représente un évènement dans le domaine environnemental, social ou de la gouvernance qui, s'il survient, pourrait avoir une incidence négative sur la valeur de l'investissement, son cours en bourse ou sur sa compatibilité avec l'objectif d'investissement du client.

Les 3 risques E, S & G se définissent séparément :

- **Le risque environnemental**

Le risque environnemental comprend<sup>8</sup> :

- **Les risques physiques** : correspondent aux pertes directes associées aux dommages causés par les aléas climatiques sur les acteurs économiques (perte de valeur des placements détenus étant émis par des entités touchées par ces aléas climatiques). Résultant des dommages de phénomènes climatiques et météorologiques extrêmes, ces risques regroupent les vagues de chaleur, de froid, de sécheresse, les cyclones tropicaux, les incendies et les inondations.

- **Le risque de transition** : correspond aux conséquences économiques (dépréciation des actifs) entraînées par la mise en place d'un modèle économique bas-carbone (par exemple risques de réputation, les risques réglementaires et juridiques, et risque d'opportunités de marché).

- **Le risque social**

Le risque social comporte les risques liés aux droits humains fondamentaux dans l'entreprise, qui affectent négativement les travailleurs et les communautés.

Ce risque rassemble notamment le travail forcé, le travail des enfants, les discriminations mais également le respect du droit du travail, le dialogue social, la

---

7. De nombreuses définitions du risque ESG existent mais elles sont assez similaires. La définition retenue s'appuie sur celle proposée par la « Politique de prise en compte des risques en matière de durabilité dans le conseil en investissement, en assurance vie et dans le cadre du plan épargne retraite » de Boursorama.

8. Plus d'informations dans la revue ACPR, n°91 - Juin 2018, *L'exposition des assureurs français au risque de changement climatique : une première approche par les investissements financiers*.

formation des salariés, la politique d'emploi des personnes handicapées.

— **Le risque de gouvernance**

Le risque de gouvernance inclut tout risque lié à l'éthique. Par exemple, il prend en compte les risques liés aux sanctions et embargos, à la corruption, au trafic d'influence, au terrorisme, à l'évasion fiscale ou encore à la protection des données. Il inclut également la transparence de rémunération des dirigeants, la féminisation des conseils d'administration ou la nomination d'administrateurs indépendants.

### 1.2.2 Les critères ESG

Afin d'évaluer les risques liés à l'environnement, le social et la gouvernance des entreprises dans lesquelles elles souhaitent investir, les institutions financières utilisent les **critères** ESG.

Ces critères permettent de **quantifier** le risque ESG de chaque entreprise. Ci-dessous des exemples (non exhaustifs) de critères d'environnement, de social et de gouvernance :

Environnement	Social	Gouvernance
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emission de gaz à effet de serre – scope 1 &amp; 2</li> <li>• Consommation d'énergie</li> <li>• Gestion et valorisation des déchets</li> <li>• Utilisation d'équipements électroniques durables</li> <li>• Qualité de l'air</li> <li>• Gestion des eaux usées</li> <li>• Déversements d'hydrocarbures directs et accidentels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Respect des droits de l'homme</li> <li>• Taux de rotation des employés</li> <li>• Qualité des relations de travail</li> <li>• Diversité &amp; inclusion</li> <li>• Egalité des salaires entre genre</li> <li>• Santé, sécurité des employés (taux d'accidents, d'absentéisme, ...)</li> <li>• Nombre de formations dispensées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethique</li> <li>• Transparence fiscale</li> <li>• Controverses liées à la corruption, fraude ou pôt-de-vin.</li> <li>• Diversité du conseil d'administration</li> <li>• Rémunération des dirigeants</li> <li>• Instabilité du système concurrentiel</li> <li>• Protection et gouvernance des données</li> </ul>

FIGURE 1.2 – Exemple de critères ESG par pilier

### 1.3 Evaluation des critères extra-financier

Afin d'intégrer les critères ESG dans leurs politiques de gestion d'actifs, les institutions financières utilisent des systèmes de notation qui permettent de quantifier le risque ESG d'un actif ou d'un émetteur.

Deux catégories de méthode d'évaluation des critères extra-financiers se distinguent, selon la catégorie d'actif dans laquelle la compagnie souhaite investir.

### 1.3.1 Cas des actifs cotés

Pour les actifs cotés, les investisseurs font majoritairement appel aux fournisseurs de données financières traditionnelles, qui sont en mesure de calculer une note ESG selon leurs systèmes de notation.

#### La méthodologie de notation

Les agences de notation ont toutes un système de notation relativement similaire :

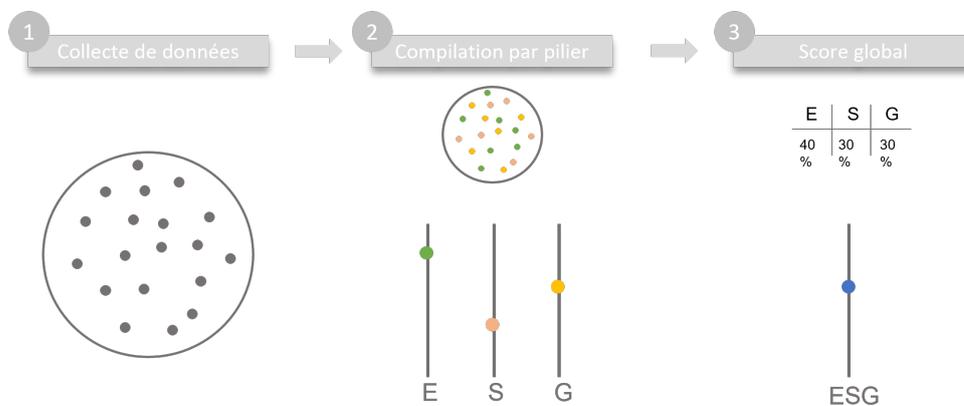


FIGURE 1.3 – Système de notation ESG

- Etape 1 : Collecte de données.  
Ces informations sont récoltées au travers d'informations publiques (rapports annuels non financiers, site web des entreprises, site web des ONG, rapports RSE, informations déposées en bourse, ...) mais également au travers de discussions et enquêtes avec les compagnies.
- Etape 2 : Regroupement des diverses sources d'information dans chaque pilier E, S & G et calcul d'une note par pilier.  
Regroupement des informations par pilier :  $e = (e_1, e_2, \dots, e_{M_e})$  les  $M_e$  informations relatives à l'environnement,  $s = (s_1, s_2, \dots, s_{M_s})$  les  $M_s$  informations relatives au social,  $g = (g_1, g_2, \dots, g_{M_g})$  les  $M_g$  informations relatives à la gouvernance.  
L'information contenue dans chaque pilier utilisée pour calculer la note au niveau du pilier est pondérée en fonction de son importance.

$$E = \sum_{i=1}^{M_e} \omega_{e_i} e_i, \quad S = \sum_{i=1}^{M_s} \omega_{s_i} s_i \quad \text{et} \quad G = \sum_{i=1}^{M_g} \omega_{g_i} g_i \quad \text{avec} \quad \omega_k \text{ le vecteur des poids associé}$$

au pilier  $k$ .

- Etape 3 : Agrégation des piliers et calcul d'une note globale.

$$ESG = \omega_E E + \omega_S S + \omega_G G$$

avec  $\omega_E, \omega_S, \omega_G$  respectivement les poids accordés à l'environnement, au social et à la gouvernance.

Bien que les agences de notations aient un système similaire, elles ont également des angles d'approche différents, ce qui mène à diverses notations selon les agences pour de mêmes entreprises. Explication selon chaque étape :

- Etape 1 : Les notes par piliers diffèrent en raison des sources de données utilisées : certaines agences ne vont utiliser que des rapports publics lorsque d'autres vont questionner les entreprises en direct.

Une initiative actuellement en pleine expansion est la mise en place de systèmes de *webscraping*, permettant de centraliser différentes sources d'informations déstructurées (articles de presses, réseaux sociaux, ...).

Ces notes diffèrent également via les diverses visions qu'ont les agences sur les critères : certaines agences se concentrent sur le risque, d'autres sur les opportunités qui existent dans le marché pour aider à la transition, d'autres sur la transparence de l'entreprise, ...

Finalement, la récolte d'information n'est pas réalisée et ni orientée de la même manière et conclut ainsi à diverses notations.

- Etape 2 : Selon leur vision, les agences de notation accordent des poids différents à chaque information au sein des piliers.
- Etape 3 : Chaque agence accorde des poids aux facteurs E, S et G afin d'agrèger les notes par pilier en un score global. Le poids de ces facteurs varie d'une agence de notation à une autre et conduit ainsi à des notations différentes. Les poids peuvent également varier en fonction du secteur de l'entreprise dont la notation est calculée.

## Les fournisseurs de notations ESG

Les données ESG commencent peu à peu à être intégrées dans les décisions d'investissement dans les années 90, mais l'utilisation des notations ESG ne commence que dans les années 2000.

Si de nombreuses agences de notation ESG existent historiquement, une concentration des acteurs a lieu depuis quelques années. En effet, S&P a racheté TruCost et RobecoSAM respectivement en octobre 2016 et novembre 2019, LSEG a acheté Refinitiv en août 2019, Moody's a acheté Vigeo-Eiris en 2019 ou encore Morningstar qui a acheté Sustainalytics en avril 2020.

Ainsi, les principales agences de notation sur le marché sont les suivantes :

- MSCI
- S&P (TruCost et RobecoSAM)

- Moody's (Vigeo-Eiris)
- LSEG (Refinitiv)
- Bloomberg
- Morningstar (Sustainalytics)
- RepRisk
- ISS
- CDP

Les corrélations entre les notations de différentes agences ont été calculées par le cabinet BDO USA, LLP :

	MSCI	S&P	Sustainalytics	CDP	ISS	Bloomberg
MSCI		35.7%	35.1%	16.3%	33.0%	37.4%
S&P	35.7%		64.5%	35.0%	13.9%	74.4%
Sustainalytics	35.1%	64.5%		29.3%	21.7%	58.4%
CDP	16.3%	35.0%	29.3%		7.0%	44.1%
ISS	33.0%	13.9%	21.7%	7.0%		21.3%
Bloomberg	37.4%	74.4%	58.4%	44.1%	21.3%	

Image courtesy of BDO USA, LLP

TABLE 1.1 – Corrélations entre différentes notations ESG

Les corrélations entre les notations sont assez faibles : seulement 20% des corrélations calculées sont supérieures à 50%. A titre comparatif, les corrélations entre les ratings de crédit pour 400 entreprises notées par Standard & Poor's, Moody's, and Fitch Ratings sont entre 94% et 96%.

Ainsi, lorsque les investisseurs utilisent des notations ESG externes, ils doivent s'assurer que la méthodologie de notation est suffisamment transparente pour leur permettre de comprendre les notations fournies.

Cependant, étant données les disparités entre les agences de notations, certains acteurs de la place financière préfèrent utiliser des méthodes internes de *scoring* afin de calculer une notation ESG qui leur est propre, au plus proche de leurs convictions & politique ESG.

Choix du rating : Dans le cadre de ce mémoire, la notation ESG utilisée sera la notation ESG **Sustainalytics**.

La notation ESG Sustainalytics se base sur la mesure de l'exposition d'une entreprise aux risques ESG et la manière dont l'entreprise gère ces risques ESG. Les notes ESG sont entre 0 et 100 points, 0 représentant le risque le plus faible.<sup>9</sup>

Ainsi, Sustainalytics classifie ses notes ESG en 5 catégories :

- Négligeable : entre 0 et 9.99 points,

9. Pour en savoir plus sur la méthodologie de calcul du rating ESG par Sustainalytics, voir [3].

- Faible : entre 10 et 19.99 points,
- Moyen : entre 20 et 29.99 points,
- Elevé : entre 30 et 39.99 points,
- Sévère : supérieur à 40 points.

### 1.3.2 Cas des actifs non cotés

Pour les actifs non cotés, la procédure dépend du type d'investissement.

- Pour les investissements **directs**, les investisseurs peuvent utiliser un questionnaire pour collecter des données directement auprès des sociétés émettrices des instruments. Celui-ci est envoyé aux sociétés et comporte plusieurs catégories. Par exemple, la vocation environnementale ou sociale des produits de l'entreprise, la politique RSE, les objectifs de réduction de l'empreinte carbone, l'implication dans un litige ou controverse, les métriques de l'entreprise (conseil d'administration, parité, nombre de démission, . . .), les taux d'absentéisme et d'accidents . . . A chaque question est associé un poids et une valeur selon la réponse (par exemple, une question à laquelle on peut répondre par « oui » ou par « non », se verra attribuer la note de 0 pour « non » et 1 pour « oui »). Une note est finalement calculée en agrégeant les réponses pondérées par les poids définis.

Différents types de questionnaires peuvent exister suivant l'état d'avancement de l'investissement (suivant si l'entreprise cible est encore au stade de prospect ou bien si l'objectif est de monitorer un investissement déjà réalisé).

Le principal avantage lié à l'emploi d'un questionnaire est sa modularité. En effet, ce questionnaire est réalisé sur-mesure par chaque investisseur – en cohérence avec les critères qu'il juge cohérent pour traduire son aversion au risque ESG – et répond au plus proche à ses objectifs. En revanche, l'emploi d'un questionnaire est consommateur de temps pour la société d'investissement, et repose sur la bonne foi et la qualité de données à disposition du prospect.

Une solution alternative au questionnaire, est de faire appel à certains data providers (comme par exemple *Refinitiv*)<sup>10</sup> qui proposent de réaliser une *due diligence*. Les recherches qualitatives et quantitatives sur les entreprises, dans le but de vérifier si ces entreprises sont conformes aux critères ESG, leur sont alors déléguées.

Enfin, de plus en plus d'acteurs se penchent sur l'utilisation d'algorithmes pour compléter les informations ESG dont ils disposent sur les sociétés non cotées. Par exemple, une possibilité est la mise en place d'algorithmes de *Machine Learning*, dont l'apprentissage supervisé est réalisé sur des sociétés cotées jugées similaires à l'investissement non coté étudié, la notation ESG de la société pouvant alors être estimée une fois l'apprentissage de l'algorithme terminé. Si ces solutions permettent d'améliorer le ratio d'entreprises pour lesquels des informations ESG peuvent être récoltées, elles coûtent néanmoins cher et peuvent ne pas répondre parfaitement

---

10. Site de Refinitiv : <https://www.refinitiv.com>

au besoin de l'investisseur. Enfin, aucune méthode ne peut contourner la problématique pour les sociétés peu matures dans lesquels les fonds non cotés peuvent investir, pour lesquelles l'obtention d'une donnée de bonne qualité peut être compromise. Par exemple, le calcul des émissions de gaz à effet de serre du *Scope 3* nécessite méthodologie, ressources et temps – le rendant difficile pour des PME ou ETI.

Par ailleurs, dans le cas d'une société gestionnaire d'investissements non cotés, des leviers de pilotage peuvent être mis en place par les investisseurs institutionnels. Dans le cas du *Private Equity*, l'investissement en actions permet le militantisme actionnarial, en offrant la possibilité pour l'investisseur institutionnel de s'engager activement dans des initiatives pouvant contribuer à l'amélioration de la notation ESG de l'entreprise. Dans le cas de la *Private Debt*, bien que les investissements dans les emprunts *corporate* ne permettent pas de piloter directement les politiques de la société dans laquelle l'investissement est réalisé, l'investisseur institutionnel peut bénéficier du fait que l'instrument de dette soit taillé « sur-mesure » (comparablement à un Produit Structuré). Ainsi, des contraintes (*ESG covenants*) ou des clauses contractuelles (*ESG ratchet*) peuvent être mises en place à la signature et pour toute la durée d'émission, pour que la société émettrice de l'instrument s'engage sur certains aspects de sa politique ESG.

- Pour les investissements **indirects** (e.g. cas d'un investissement dans un fonds de *Private Equity* ou *Private Debt*), l'investisseur a la possibilité de consulter les données fournies par la société en charge de l'investissement direct<sup>11</sup>. A noter que le niveau de complexité de celles-ci peut varier selon le type d'investisseur indirect (investisseur institutionnel ou individuel), pour la bonne compréhension des données.

Par ailleurs, l'investisseur indirect est dépendant de la méthodologie utilisée par l'investisseur direct et n'a pas la main sur les données brutes. Par conséquent, la mise à disposition de données ESG de qualité pour les investissements non cotés s'est imposée comme un enjeu concurrentiel durant les dernières années.

Finalement, les notations produites, sur des actifs cotés ou non, permettent aux investisseurs d'évaluer le risque ESG. Néanmoins, des biais existent dans le calcul des notations, menant ainsi à une disparité des notations entre les agences de notation.

---

11. Voir paragraphe 1.3.2.

## 1.4 Les stratégies d'investissement durable

Pour investir dans des actifs ESG<sup>12</sup>, plusieurs stratégies sont possibles, notamment :

- Les stratégies d'**exclusion** :
  - **Sectorielle** : celle-ci consiste à exclure certains produits comme le tabac, l'alcool, le nucléaire, les armes, les jeux de hasard ou certaines activités comme la production de charbon, pétrolière, ...
  - **Normative** : celle-ci consiste à exclure des actifs qui ne respectent pas certaines normes internationales, sanctions internationales ou embargos. La plus répandue est l'exclusion des actifs appartenant à des entreprises ne respectant pas le *UN Global Compact* (cf 1.1).
  - **Comportementale** : celle-ci consiste à exclure certaines entreprises concernées par de la corruption ou violation des droits de l'homme.
- La stratégie d'**inclusion** (best-in-class) : qui consiste à inclure les entreprises qui performant le mieux sur certains critères (ESG) par rapport à leurs pairs d'un même secteur, ou par rapport à un seuil.
- La stratégie à **thématique durable** : qui consiste à investir dans des actifs contribuant spécifiquement à des solutions durables (au niveau social & environnemental) comme les bâtiments durables, les BEPOS (bâtiment à énergie positive), l'agriculture durable, l'équité entre les femmes et les hommes, les énergies renouvelables, ...
- La stratégie à **impact** ou **communautaire** :
  - A **impact** : consiste à investir dans des projets afin d'obtenir des impacts sociaux & environnementaux positifs. Cette stratégie nécessite de démontrer la contribution de l'investisseur dans le projet. L'impact doit pouvoir se traduire en chiffre : x emplois créés, x personnes réinsérées, x kilomètres carrés de terre reboisés.
  - **Communautaire** : consiste à investir dans du capital directement dirigé vers des individus ou communautés ainsi qu'aux entreprises ayant un but social ou environnemental reconnu.
- La stratégie **corporate engagement & stakeholder action** : qui consiste à accepter des entreprises qui sont moins bonnes en termes de rating ESG et faire partie de la solution au travers de leurs opérations en aidant les entreprises à s'engager dans la transition durable et à mettre en place les bonnes politiques. L'investisseur a alors un rôle clé dans la transition durable de l'entreprise.

---

12. Par abus de langage, la dénomination "actifs ESG" fait référence aux actifs ayant un risque ESG faible (i.e. ayant une bonne note ESG )

- La stratégie d'**intégration ESG** : consiste à prendre systématiquement en compte les facteurs d'environnement, social et de gouvernance dans l'analyse financière des actifs et les portefeuilles d'investissement.

Ci-dessous, l'évolution des stratégies entre 2016 et 2020 <sup>13</sup> :

FIGURE 7 Global growth of sustainable investing strategies 2016-2020



FIGURE 1.4 – Evolution des stratégies d'investissement durable

Il est à noter que les stratégies peuvent se combiner, bien que les stratégies d'inclusion soient de plus en plus utilisées, voir même préférées aux stratégies d'exclusion chez les acteurs de marché.

Ainsi, au travers de ces différentes stratégies, les actifs ESG sont intégrés dans les portefeuilles des assureurs. Mais quelle est leur valeur ajoutée en termes de rendement et de risque ?

## 1.5 Quelles sont les valeurs ajoutées des actifs ESG ?

Les actifs ESG et les stratégies adjacentes ont largement faits leurs apparitions ces dernières années. Mais quelles sont leurs réelles valeurs ajoutées ?

Si dans un premier temps, les acteurs ont considéré les investissements durables comme un choix purement « éthique », sans faire le lien avec le cadre traditionnel de rendement/risque, il a, par la suite, souvent été prétendu que les investissements ESG génèrent à la fois un risque plus faible et une performance plus élevée. Larry Fink, le PDG

13. Source : *Global Sustainable Investment Alliance*

de *BlackRock*<sup>14</sup> disait en 2020 : “*Notre conviction en matière d’investissement est que les portefeuilles intégrant des critères en matière de durabilité et de climat peuvent offrir aux investisseurs de meilleurs rendements ajustés au risque*”.

La littérature étant assez contrastée sur le sujet, nous nous appuyerons sur différentes sources.<sup>15</sup>

**Théoriquement**, la performance ajustée au risque devrait être plus faible en optimisant un portefeuille à l’aide d’un univers contraint qu’avec un univers non contraint. Ainsi, imposer un certain niveau de contraintes ESG sur les décisions d’investissement engendre un coût d’opportunité avec une possible augmentation du risque et une réduction de la performance, par rapport à un portefeuille optimisé sans considérations ESG.

**Empiriquement**, les résultats théoriques sont controversés.

Premièrement l’intégration des critères ESG dans les stratégies d’investissement permet de **réduire les risques** :

- **spécifiques** : les actifs ESG permettent de réduire les risques spécifiques tels que les risques non-financiers. Ainsi, en investissant dans ce type d’actifs, les risques environnementaux, réglementaires, politiques et de poursuites judiciaires baissent et de plus l’exposition aux risques de réputation, opérationnels et légal diminue. Autrement dit, les entreprises matures en ESG tendent à être moins volatiles.
- **systématiques** : une étude menée par le *Center for Sustainable Business* de NYU Stern [4], explique que les actifs ESG résistent mieux que les actifs classiques aux crises généralisées, qu’elles soient endogènes (e.g. crise des *Subprimes*) ou exogènes (e.g. crise du Covid).  
En effet, pendant la crise financière des *Subprimes*, il a été constaté (cf [5]) des rendements ajustés au risque – des fonds communs de placement verts allemands – légèrement supérieurs aux fonds communs de placement classiques. De plus, les actifs ESG reviennent à leur niveau d’avant crise plus rapidement que les actifs classiques – comme le montre le *FTSE4Good*, un ensemble d’indices boursiers ESG, pendant la crise des *Subprimes* (cf [6]). Cela semble également se produire lors des crises exogènes : au cours du premier trimestre du COVID en 2020, les fonds classiques ont été surperformés par 24 des 26 fonds indiciels ESG.

Deuxièmement, outre le fait de donner un sens aux investissements, les actifs ESG per-

---

14. Plus important gestionnaire d’actif au monde en termes d’actifs sous gestion.

15. Une revue complète sur les papiers traitant de l’amélioration de la performance ajustée au risque par les investissements ESG est disponible dans l’article « Does ESG investing improve risk-adjusted performance ? » écrit par Véronique Le Sourd publié dans l’*EDHEC Risk Institute*.

mettent de **performer**.

Certains ne sont pas d'accord avec cela et soutiennent les arguments théoriques disant que l'utilisation de contraintes ESG réduit l'univers d'investissement et entraîne alors une mauvaise diversification (cf [7]). D'autres avancent que les critères ESG n'apportent ni sur-performance, ni sous-performance (e.g. [8]).

Bien que l'effet positif de l'ESG sur les rendements ne fasse pas l'unanimité chez les acteurs, Khan, Serafeim et Yoon (cf [9]) constatent que les entreprises ayant une notation ESG élevée ont tendance à surperformer ceux ayant une notation ESG faible<sup>16</sup>.

De plus, dans l'étude menée par le *Center for Sustainable Business* de NYU Stern, les conclusions avancent que les actifs ESG ont tendance à surperformer sur le long terme.

Finalement, il a été conclu que dans la majorité des études (88%), la corrélation entre l'intégration des critères ESG et la performance financière des entreprises est positive ou non négative (cf [10]).

En conclusion, même si aucune étude ne semble convaincre unanimement les investisseurs institutionnels du bienfondé des critères ESG, ces indicateurs se sont tout de même imposés en quelques années comme des leviers de pilotage incontournables pour les gestionnaires de portefeuille, une tendance accentuée notamment par les différentes évolutions réglementaires en ce sens.

---

16. Avec une échelle de notation traduisant que plus la note est élevée, plus le risque ESG est faible

## Chapitre 2

# Contexte réglementaire : environnement réglementaire ESG et Solvabilité II

Afin d'engager les acteurs à orienter leurs capitaux vers des investissements ESG, il est nécessaire d'apporter un cadre réglementaire aux investissements durables.

Déoulant de l'Accord de Paris, le contexte réglementaire s'est largement développé ces dernières années, et notamment le cadre réglementaire spécifique à l'assurance.

La notion de **risque en matière de durabilité** sera reprise tout au long de ce chapitre, il s'agit d'un « *évènement ou un état de fait dans le domaine environnemental, social ou de la gouvernance qui, s'il survenait, pourrait avoir une incidence négative réelle ou potentielle sur la valeur de l'investissement ou l'engagement* » (définition du règlement *Disclosure*). C'est le terme utilisé par la majorité des acteurs pour reprendre les problématiques de risque ESG.

Les différents acteurs qui régissent le cadre réglementaire sont les suivants :

### **ONU – Organisation des Nations Unies**



L'ONU est une organisation internationale instituée le 24 octobre 1945 avec la signature par 51 Etats de la Charte des Nations Unies. Elle regroupe actuellement 193 Etats membres. L'organisation a pour objectifs (tels que définis dans l'Article 1 du Chapitre 1 de la Charte des Nations Unies) de « maintenir la paix et la sécurité internationale », de « développer entre les nations des relations amicales », de « réaliser la coopération internationale » et enfin d' « être un centre où s'harmonisent les efforts des nations vers des fins communes ».



### Commission Européenne

La Commission européenne est une institution de l'Union Européenne qui propose et met en œuvre des politiques communautaires.

### EIOPA – *European Insurance and Occupational Pensions Authority*



L'EIOPA est un organe consultatif indépendant auprès du Parlement Européen, du Conseil de l'Union européenne et de la Commission européenne. Elle fait partie des 3 autorités de surveillance du Système européen de supervision financière et participe, dans le domaine de l'assurance, à l'élaboration des normes et standard de régulation et de surveillance financière.



### ESMA – *European Securities and Markets Authority*

L'ESMA est une autorité de surveillance des marchés financiers européenne indépendante. Elle fait partie des 3 autorités de surveillance du Système européen de supervision financière.

## 2.1 La réglementation ESG

Le contexte réglementaire a évolué avec l'expansion des investissements ESG, à l'échelle internationale, de l'Union Européenne, ou encore à l'échelle nationale.

### 2.1.1 A l'échelle internationale

Au niveau international, l'adoption de l'Accord de Paris et la mise en place par l'Organisation des Nations Unies d'un programme de développement durable, en 2015, ont été une étape cruciale pour le développement durable à l'échelle mondiale.

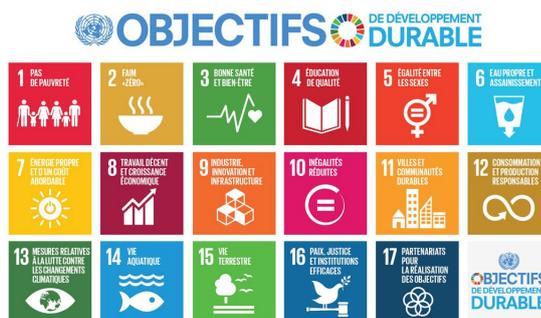
L'**Accord de Paris**, traité international, a été adopté lors de la COP21 en 2015 par 196 parties et ratifié par 189. Entré en vigueur début novembre 2016, il a pour objectif de :

- limiter le réchauffement climatique à un niveau inférieur à 2°C ;
- aligner les « *flux financiers avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques* » ;
- réévaluer les engagements nationaux tous les 5 ans ;
- fournir, pour les pays en développement, des ressources financières.

Chaque pays ayant signé le traité doit, tous les 5 ans, fournir un plan d'action national dit « contribution déterminée au niveau national » ou « CDN », expliquant les mesures et les objectifs pour réduire leur émission de gaz à effet de serre.

L'Accord de Paris marque une transition vers un monde à objectif zéro émission nette.

Au niveau des Nations Unies, le programme de développement durable établi 17 **Objectifs de Développement Durable** (ODD) conçus pour aider à atteindre, d'ici 2030, les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD). Ces 17 objectifs sont les suivants :



### 2.1.2 A l'échelle européenne

Au niveau européen, suivant l'adoption de l'Accord de Paris et des ODD des Nations Unies, la Commission Européenne a adopté, en mars 2018, le «**plan d'action 2018**» [11] visant à intégrer la finance durable au centre du secteur financier. Trois axes y sont développés :

- La « réorient[ation] des flux de capitaux vers des investissements durables en vue de parvenir à une croissance durable et inclusive »,
- La « gestion des risques financiers induits par le réchauffement climatique, l'épuisement des ressources, la dégradation de l'environnement et les problématiques sociales »,
- La « favoris[ation] de la transparence et d'une vision long terme dans les activités économiques financières ».

De plus, le **Pacte vert pour l'Europe**, communiqué en décembre 2019 par la Commission Européenne, définit des initiatives ayant pour but d'atteindre la neutralité carbone en Europe d'ici 2050.

Sur la base du plan d'action 2018, la Commission Européenne a construit un cadre réglementaire basé sur 3 éléments :

1. Une taxonomie propre à l'Union Européenne, permettant d'avoir une classification commune des activités durables ;
2. La transparence des informations en termes de durabilité - fondée sur le principe de la « double-matérialité » ;

### 3. Des outils, permettant l'élaboration de solutions d'investissement durable.

Ainsi, suivant ces 3 éléments constitutifs du cadre réglementaire, de nombreuses réglementations sur la finance durable – adoptées par la Commission Européenne – cohabitent dans un contexte qui évolue continuellement.

## 1. Taxonomie de l'UE

Dans le cadre de la réorientation des flux de capitaux vers une économie plus durable (objectif du plan d'action 2018), les entreprises doivent avoir une taxonomie commune permettant de déterminer les activités économiques considérées comme durables.

Ainsi, ce texte, publié par le Journal officiel le 22 juin 2020, permet ainsi aux entreprises financières et non financières de partager une définition commune de la durabilité.

De plus, en éclairant les investisseurs sur les investissements durables, le règlement permet de limiter les risques de *greenwashing*<sup>1</sup> et de contribuer au développement de ce type d'investissement.

Ce règlement s'applique aux acteurs financiers ayant des produits financiers tels que définis dans le règlement *SFDR* et aux entreprises assujetties à la directive *NFRD* (cf 2.1.2).

Le règlement vise à aider les investisseurs et les entreprises à prendre des décisions d'investissement éclairées dans des activités économiques respectueuses de l'environnement, en définissant une classification basée sur six objectifs environnementaux<sup>2</sup> :

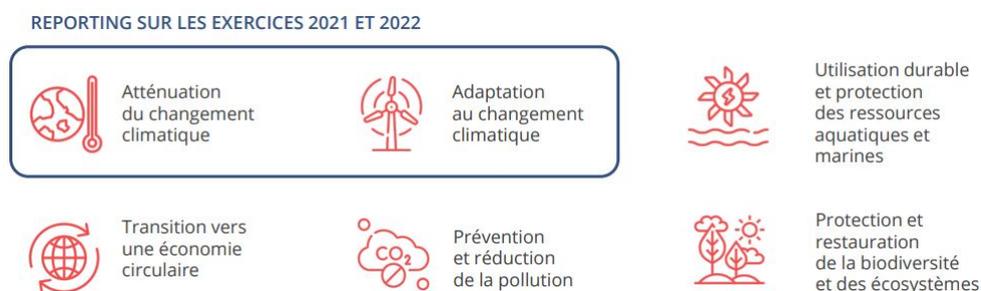


FIGURE 2.1 – 6 objectifs environnementaux de la Taxonomie

Depuis janvier 2022, les entreprises sont obligées d'indiquer la proportion de leur chiffre d'affaires ou de leurs investissements financiers qui sont éligibles et alignés avec les 2 premiers objectifs de la *Taxonomie*.

L'entrée en vigueur de la *Taxonomie* sur les 4 autres objectifs est prévue pour le 1<sup>er</sup> janvier 2024.

1. Le *greenwashing*, dit « éco-blanchiment » en français, représente une technique frauduleuse qui consiste à promouvoir le caractère responsable, éthique et écologique d'une entreprise ou d'un investissement qui ne l'est pas en réalité.

2. Source : Guide de la finance durable, ORSE - PWC [12]

## 2. Transparence

### SFDR – *Sustainable Finance Disclosure Regulation*

Publié le 9 décembre 2019, cette Directive de l'Union Européenne vise à encadrer l'intégration des critères ESG : favoriser les investissements durables tout en assurant la protection des investisseurs.

En effet, cette réglementation offre des règles harmonisées de transparence en termes de responsabilité environnementale et sociale au sein des marchés financiers, en fournissant des informations en matière de durabilité.

Cette réglementation s'applique aux compagnies d'assurances, banques, fonds de pension, gestionnaires d'actifs ou encore professionnels financiers.

Le principe de *double matérialité* est introduit dans cette directive. Entre autres, elle impose à ces acteurs de :

- Intégrer des critères de durabilité au sein de l'entreprise et publier des informations relatives à ces intégrations (*double matérialité* – point de vue interne) ;
- Publier des informations sur l'impact de l'entreprise sur la société et l'environnement (*double matérialité* – point de vue externe) ;
- Classifier les actifs en catégories selon des objectifs d'investissement.

Trois catégories de produits sont définies dans le règlement *SFDR* :

- **Article 6** : produits qui ne tiennent pas ou peu compte des enjeux ESG ;
- **Article 8** : produits intégrant des caractéristiques environnementale ou sociale même si cela ne représente pas le point central du produit, ni le point central du processus d'investissement. Le produit fait la promotion de caractéristiques environnementales ou sociales, ou une combinaison de ces caractéristiques, pour autant que les sociétés dans lesquels les investissements sont réalisés appliquent des pratiques de bonne gouvernance.

Les produits de l'article 8 sous entendent le déploiement d'une politique d'exclusion, la mesure d'impacts RSE ou encore une *due diligence* ESG préalable.

- **Article 9** : produits ayant un objectif de développement durable. Un fond classifié article 9 peut contribuer à un ODD.

A noter que la différence entre les produits de l'article 8 et de l'article 9 repose dans le fait que les produits de l'article 8 promeuvent des caractéristiques environnementales et/ou sociales alors que ceux de l'article 9 ont pour objectif l'investissement durable.

L'application de la directive chez les acteurs financiers s'effectue en 2 temps :

- Dispositions **niveau 1** (10 mars 2021) : obligations de transparence au niveau de l'entité et des produits financiers. Des exigences spécifiques sont mises en place pour les produits « durables » (des articles 8 et 9).
- Dispositions **niveau 2** (1er janvier 2023) : ajout des normes techniques de régle-

mentation (RTS) qui précisent les informations à publier relatives aux incidences négatives (influence de l'entreprise sur la société) mais également spécifiques aux produits durables classés article 8 et article 9 de la réglementation. En effet, les RTS *Disclosure* ont été publiés en mars 2021 et les RTS *Disclosure* dits complémentaires, publiés en octobre 2021, mais la Commission Européenne a estimé que les RTS *Disclosure* et les RTS *Disclosure* complémentaires devait relever d'un acte délégué unique. La mise en application a ainsi été reportée au 1er janvier 2023.

Ci-dessous, le calendrier de la mise en application de la directive *SFDR* :

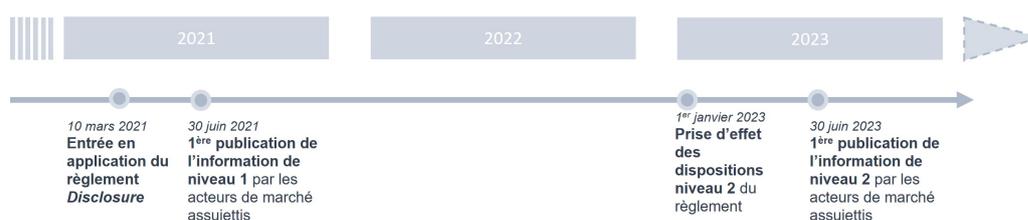


FIGURE 2.2 – Calendrier de mise en application de la *SFDR*

### ***NFRD – Non Financial Reporting Directive***

Entrée en vigueur en 2018, la directive *Non Financial Reporting Directive* impose aux « grandes entreprises »<sup>3</sup> de publier des informations non financières de leurs entités.

Le principe de la *double matérialité* y est également introduit : obliger les entreprises à publier de l'information sur l'incidence de l'intégration des critères de durabilité au sein de leur entité (point de vue interne), mais également de publier de l'information sur l'incidence de leurs activités sur la société (point de vue externe).

Néanmoins, cette directive comporte un défaut majeur : la non-normalisation des indicateurs (environ 150). Les entités peuvent alors choisir les informations et méthodologies de calcul pour chacun des indicateurs, rendant ainsi l'information publiée non comparable entre les entreprises.

Une révision de cette directive est en cours afin de rendre ce règlement plus en adéquation aux réglementations avec lesquelles elle est liée. Une proposition de directive *Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)*<sup>4</sup> a été adoptée par la Commission Européenne le 21 avril 2021.

Si la proposition de directive *CSRD* reprend le principe de *double matérialité* de la directive *NFRD*, des objectifs supplémentaires y sont développés. Entre autres, la proposition de directive *CSRD* a pour objectif de minimiser l'écart entre les besoins en informa-

3. Ces « grandes entreprises » sont les entreprises ayant plus de 20M€ de bilan, ou plus de 40M€ de chiffre d'affaires ou plus de 500 salariés.

4. Le *CSRD* s'appliquera aux entreprises cotées sur les marchés réglementés de l'UE (excepté les micro-entreprise) et aux entreprises ayant au moins 2 des critères suivants : plus de 20M€ de bilan, plus de 40M€ de chiffre d'affaire, plus de 250 salariés. Le champ d'application de la directive passera donc d'environ 12 000 entreprises (avec *NFRD*) à presque 50 000 entreprises.

tions sur la durabilité et la disponibilité des informations, d'assurer l'adéquation entre les réglementations européenne liées et encore de développer des indicateurs standards en durabilité afin de communiquer sur des informations compréhensibles, représentatives et comparables.

Ainsi, la directive *CSDR* s'assure que les entreprises publient les informations nécessaires pour satisfaire les obligations d'information exigées par le règlement *SFDR*.

Le calendrier de mise en application de la directive *CSDR* est le suivant :



FIGURE 2.3 – Calendrier de mise en application de la *CSDR*

### Taxonomie

Aussi, le règlement *Taxonomie* complète les règlements *SFDR* et *NFRD* en matière de transparence. En effet, il impose aux entreprises assujetties au règlement *NFRD* de publier (depuis le 6 juillet 2021) des informations qualitatives et *KPIs* afin d'expliquer dans quelle mesure les activités de l'entreprise sont associées à des activités économiques durables. De plus, la *Taxonomie* vise à publier des informations complémentaires pour les produits financiers de l'article 8 et 9 tels que définis dans le règlement *SFDR*.

### 3. Outils

Le règlement **Benchmark** établit les règles sur les indices de référence utilisés dans l'Union Européenne.

Suite aux recommandations « Les indices climatiques et la publication des facteurs ESG relatifs aux indices » du groupe d'experts techniques TEG<sup>5</sup>, le règlement Benchmark a été modifié le 27 novembre 2019 en :

- introduisant de nouvelles typologies d'indices « bas carbone » : les indices *EU Climate Transition Benchmark* et les indices *EU Paris-aligned Benchmark* ;
- obligeant les administrateurs d'indices à être transparents sur l'intégration des critères ESG dans leurs méthodologies.

5. *Technical Experts Group*, groupe d'experts techniques sur la finance durable

Ce texte vise ainsi à renforcer le caractère durable des produits en les comprenant à des indices cohérents.

Finalement, le règlement *SFDR*, accompagné des règlements *Taxonomie* et *Benchmark*, permettent aux investisseurs d'avoir d'avantage de visibilité sur la durabilité de leurs investissements.

### 2.1.3 A l'échelle nationale

Si de nombreuses réglementations ont vu le jour, particulièrement à l'échelle européenne, la législation française évolue de pair avec l'Europe.

#### Déclaration de performance extra-financière – DPEF

La Déclaration de Performance Extra-Financière ou DPEF, qui remplace le dispositif Grenelle II, est une transposition en droit français de la Directive *NFRD*. Ainsi, cette déclaration consiste à publier des informations non financières.

Les entreprises assujetties à la DPEF<sup>6</sup> doivent insérer cette déclaration chaque année dans leur rapport de gestion et la soumettre à la vérification d'un OTI<sup>7</sup>.

Comme la Directive *NFRD*, la DPEF repose sur le principe de la « double importance relative » et suit une approche fondée sur une analyse des risques extra-financiers couvrant les 5 thématiques suivantes<sup>8</sup> :



FIGURE 2.4 – 5 thématiques de la DPEF

D'autres textes législatifs français ont un impact sur le périmètre des informations à faire figurer dans la DPEF. On peut citer la loi Énergie Climat – art 29 n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 et la Loi « Climat et résilience » n°2021-1104 du 22 août 2021.

6. Les entreprises assujetties à la DPEF sont les entreprises cotées et assimilées de plus de 500 salariés avec un chiffre d'affaires de plus de 40 millions d'euros ou un total bilan de plus de 20 millions d'euros et les entreprises non cotées de plus de 500 salariés avec un chiffre d'affaires de plus de 100 millions d'euros ou total bilan de plus de 100 millions d'euros.

7. Organisme Tiers Indépendant

8. Source : Guide de la finance durable, ORSE - PWC [12]

### **Article 29 de la Loi Energie Climat**

Pour respecter la cohérence européenne du règlement *SFDR*, l'article 29 de la *Loi Energie Climat* a été publié en novembre 2019, amendant l'article 173 VI de la loi relative à la transition énergétique pour le croissance verte (TECV). Le principe de *double matérialité* y est ainsi repris. Néanmoins, la France va plus loin et propose de se concentrer sur les risques associés au changement climatique et liés à la biodiversité. Elle propose également un plan d'amélioration continu sur cet article de loi.

### **Loi « Climat et résilience »**

Cette loi permet de compléter le contenu de la DPEF avec des informations relatives aux conséquences de l'activité de l'entreprise sur le changement climatique. Entre autres, la société doit fournir sa quantité d'émissions de gaz à effet de serre liée aux transports et doit mettre en place des actions visant à réduire les émissions.

Bien que la problématique de développement durable soit dans les esprits depuis une vingtaine d'années, la réglementation, plus ou moins restrictive, n'est mise en place que depuis les 5 dernières années ; et ce au niveau international, européen et national.

En complément du cadre réglementaire en matière de finance durable axé sur 3 éléments (la taxonomie de l'UE, la transparence et les outils), le cadre réglementaire spécifique à l'assurance a été complété afin d'intégrer les risques de durabilité dans les décisions d'investissement ainsi que les préférences ESG dans le conseil en investissement.

A titre d'exemple, au niveau de la France, la **loi Pacte**, promulguée en mai 2019, impose aux sociétés d'assurances de proposer au moins 1 produit ESG. Cela transparait également au niveau européen, lorsqu'en juillet 2018, l'EIOPA et l'ESMA ont été mandatés pour fournir des avis technique à la Commission Européenne, dans le cadre des réglementations de la DDA et de Solvabilité 2 mais également des réglementations sur les OPCVM, MiFID 2 et AIFM.

Notamment, la **Directive de la Distribution d'Assurance** (DDA) a été complétée par l'intégration de facteurs de durabilité dans les règles de conduite et dans les exigences de gouvernance.

La norme **Solvabilité 2** a également été complétée. Ainsi, dans la suite, l'intégration des risques de durabilité dans la norme Solvabilité 2 sera la seule à être détaillée.

## **2.2 Présentation de la norme Solvabilité 2**

Depuis le 1er janvier 2016, la directive Solvabilité 2 est mise en application et définit le cadre réglementaire et prudentiel des assurances et réassurances exerçant au sein de l'Union Européenne. Amendée en 2014 par le parlement européen, elle remplace la directive Solvabilité 1.

L'objectif de Solvabilité 2 est de s'assurer de la solidité financière des sociétés d'assurances et de réassurances dans le but de protéger les assurés contre un défaut de paiement des

garanties. La directive offre un cadre global de la gestion des risques et permet une meilleure prise en compte du profil de risque. Finalement, la Solvabilité 2 a pour but d'harmoniser les pratiques des assureurs et réassureurs au sein de l'Union Européenne, permettant plus de transparence et de concurrence entre les acteurs.

La norme Solvabilité 2, à l'image de la norme bancaire « Bâle II », repose sur trois piliers :

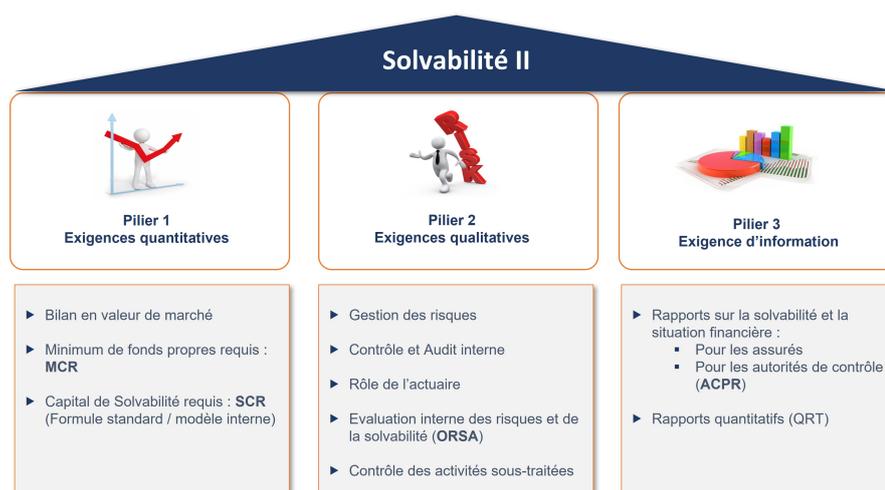


FIGURE 2.5 – Piliers de la Solvabilité 2

Chacun de ces piliers est détaillé dans la suite.

### 2.2.1 Pilier 1

Le premier pilier a pour objectif de calculer les exigences quantitatives de la norme. Il repose sur les principes suivants :

1. L'élaboration d'un bilan prudentiel en valeur de marché des actifs et des passifs
2. Le calcul des exigences réglementaires en termes de capital. Deux niveaux de fonds propres sont définis :
  - (a) Le SCR – *Solvency Capital Requirement* : niveau de capital requis à l'assureur pour absorber le choc provoqué par un risque majeur afin de continuer ses activités.
  - (b) Le MCR – *Minimum Capital Requirement* : niveau plancher en dessous duquel l'intervention de l'ACPR<sup>9</sup> est immédiate.
3. Le calcul de la marge pour risque

9. Autorité de contrôle prudentiel et de résolution

### 1. Elaboration du bilan prudentiel

Le bilan Solvabilité II est composé à l'actif de la valeur de marché des actifs et au passif des fonds propres, d'un Best Estimate (BE) et d'une marge pour risque.

Ci-dessous, le bilan simplifié Solvabilité 2 :

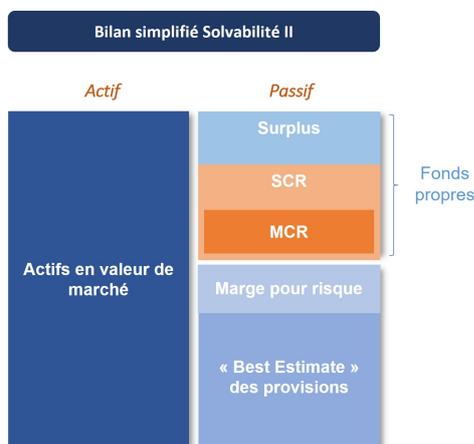


FIGURE 2.6 – Bilan simplifié Solvabilité 2

#### Calcul du Best Estimate

Le Best Estimate représente la meilleure estimation possible à la date d'évaluation de l'engagement de l'assureur envers les assurés. C'est la valeur probable des flux futurs de trésorerie actualisés à la courbe des taux sans risque, estimés de la façon la plus exacte possible :

$$BE = E \left[ \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r_t)^t} \right]$$

Avec :

- $E$  l'espérance définie sur l'espace complet  $(\Omega, \mathcal{F}, \mathcal{P})$  ;
- $T$  l'horizon de projection ;
- $CF_t$  les cash-flow futurs en  $t$  ;
- $r_t$  le taux sans risque en  $t$  (fourni par l'EIOPA).

### 2. Exigences réglementaires

#### (a) SCR

Le SCR est le niveau de capital requis à l'assureur pour absorber le choc provoqué par un risque majeur afin de continuer ses activités.

Le SCR étant également défini comme le minimum de capital requis correspondant à une probabilité de ruine de 0,5% à horizon un an, il correspond à la Value-at-Risk (VaR) de

la perte en fonds propres économiques de l'assureur sur un horizon 1 an avec un niveau de confiance 99,5%.

Deux approches existent pour calculer le SCR :

- Le modèle interne propre à chaque compagnie et devant être validé par l'ACPR.
- La formule standard, calibrée par l'EIOPA.

Le SCR de la formule standard est défini tel que :

$$SCR = BSCR + SCR_{op} - Adj_j$$

Avec :

- $BSCR$  le capital de solvabilité requis de base, calculé de manière modulaire;
- $SCR_{op}$  la charge de capital relative au risque opérationnel;
- $Adj_j$  l'ajustement du SCR de la capacité d'absorption de perte des provisions techniques et des impôts différés.

Le SCR est calculé sur les modules de risques suivants :

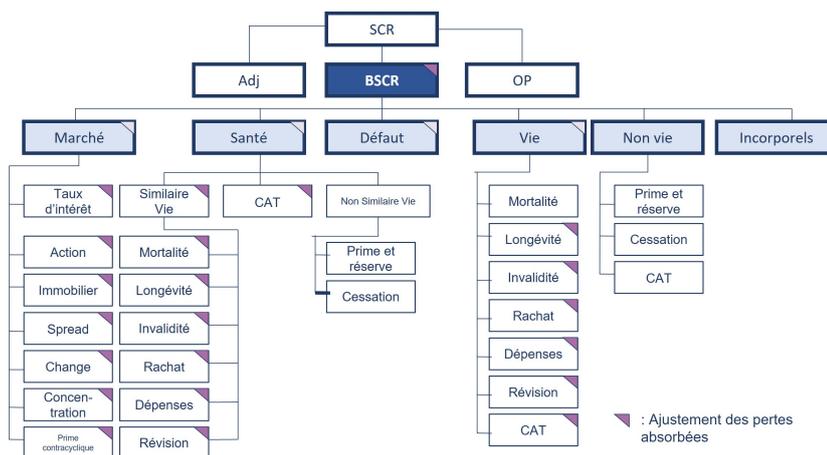


FIGURE 2.7 – Modules de risque du SCR

Le BSCR est alors égal à :

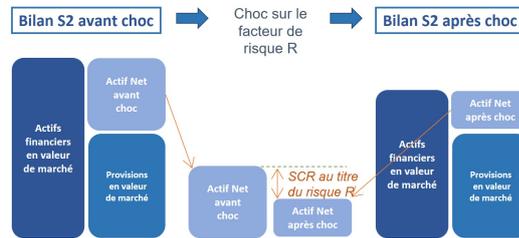
$$BSCR = \sqrt{\sum_{i,j} corr_{i,j} \times SCR_i \times SCR_j} + SCR_{intangible}$$

Avec :

- $SCR_i$  (resp.  $SCR_j$ ) le SCR relatif au sous-module  $i$  (resp.  $j$ );
- $corr_{i,j}$  la corrélation entre les sous-modules  $i$  et  $j$ .

Pour chaque sous-module, le SCR correspond à la variation de l'Actif Net (NAV) avant

et après le choc :  $SCR_{sous\ module} = \max(NAV_{avant\ choc} - NAV_{après\ choc}, 0)$



### (b) MCR

Le MCR représente le niveau plancher en dessous duquel l'intervention de l'ACPR est immédiate : une augmentation de capital doit être réalisée sous peine de retrait d'agrément.

Il représente le niveau minimum de fonds propres assurant avec une probabilité de 80% de ne pas être en ruine à horizon d'un an.

Le MCR doit être compris entre 25% et 45% du SCR.

### 3. Marge pour risque

La marge pour risque est le montant de fonds propres supplémentaires nécessaires pour couvrir les engagements repris en cas de transfert.

La marge pour risque, notée  $RM$ , est calculée comme le coût d'immobilisation des fonds propres nécessaires pour atteindre jusqu'au terme le SCR relatif aux engagements d'assurance :

$$RM = CoC \times \sum_{t \geq 0} \frac{SCR_t}{(1+r_{t+1})^{t+1}}$$

Avec :

- $CoC = 6\%$  le taux du coût du capital ;
- $SCR_t$  le capital requis après  $t$  années ;
- $r_{t+1}$  le taux sans risque en  $t+1$ .

#### 2.2.2 Pilier 2

Le pilier 2 fixe les règles qualitatives de gouvernance et de gestion des risques afin de s'assurer que la compagnie est bien gérée. Le pilier 2 a pour objectif d'organiser la gouvernance des organismes d'assurance et de réassurance et de mettre en place les modalités de mise en œuvre de leur système de gestion des risques.

Une fonction clé représente une capacité administrative à assurer des tâches déterminées de gouvernance. Les 4 fonctions clés de Solvabilité 2 sont :

- La fonction **actuarielle**. Son rôle est de calculer les provisions techniques, donner une opinion sur la politique de souscription et de réassurance, de participer à la gestion des risques.
- La fonction **gestion des risques**. Son rôle est de s'assurer que l'ensemble des risques sont identifiés et sous contrôle. Cette fonction est en charge de la mise en place du système de gestion des risques, de la validation du modèle interne et de l'ORSA.
- La fonction **contrôle interne**. Son rôle est de s'assurer que les procédures de l'entreprise sont correctement suivies et qu'elles couvrent efficacement les risques opérationnels.
- La fonction **audit interne** (indépendante). Son rôle est de s'assurer que les dispositifs de maîtrise des risques de l'entreprise fonctionnent.

Le pilier 2 met en place l'**ORSA** (*Own Risk and Solvency Assessment*) : un processus d'évaluation (interne) par l'assureur lui-même et selon sa vision, de l'ensemble des risques auxquels il est soumis et de sa solvabilité. L'ORSA doit évaluer :

- Le besoin global de solvabilité ;
- Le respect permanent des obligations réglementaires en capital (SCR, MCR) et en provisions techniques ;
- L'analyse de l'écart entre le profil de risques de l'organisme et les hypothèses prises dans la formule standard pour le calcul du SCR.

### 2.2.3 Pilier 3

Le pilier 3 vise à produire un ensemble de rapports qualitatifs et quantitatifs à destination du régulateur et du public. Le but est d'harmoniser la communication des assureurs. Ainsi, des fichiers au format standardisé sont à remplir par les organismes. Entre autres :

- Le SFCR<sup>10</sup> : Rapport sur la solvabilité et la situation financière, annuel et à destination du public ;
- Le RSR<sup>11</sup> : Rapport régulier au superviseur, dont un résumé est à fournir tous les ans et un rapport complet tous les 3 ans, à destination du régulateur ;
- Les QRT<sup>12</sup> : état de reporting quantitatif.

Le but de cette partie était de poser les bases réglementaires de l'environnement Solvabilité II pour pouvoir évoquer les modifications prévues.

Si l'EIOPA a affirmé prioriser pour les années 2022 à 2024 l'intégration des considérations relatives à la finance durable, des modifications de la directive Solvabilité 2 ont, à ce jour, déjà été actées.

---

10. Solvency and Financial Condition Report

11. Regular Supervisory Report

12. Quantitative Reporting Templates

## 2.3 Révision de la Solvabilité 2

La problématique de durabilité est déjà depuis quelques années au centre des projets européens. Si la Commission Européenne est intervenue pour établir un système commun de classification européen des activités économiques durables (le règlement *Taxonomie*), pour améliorer la transparence sur l'intégration des critères ESG des investisseurs institutionnels (le règlement *SFDR*) ou encore pour créer de nouveaux outils (catégories benchmark) ; elle intervient également pour compléter la réglementation assurantielle sur l'intégration des risques durables - notamment sur la norme Solvabilité 2.

Le plan d'action (*cf* 2.1.2) de la Commission Européenne, adopté en mars 2018 vise la « réorient[ation] des flux de capitaux vers des investissements durables en vue de parvenir à une croissance durable et inclusive ».

Dans ce cadre, l'EIOPA, au même titre que l'ESMA, a été mandatée pour faire des propositions techniques et pour assister la Commission européenne sur l'intégration des enjeux ESG et la prise en compte du risque de durabilité au sein de la norme Solvabilité 2.<sup>13</sup>

Entre autres, la Commission Européenne a demandé à l'EIOPA de fournir des informations concernant, lorsqu'il est pris en compte, l'impact quantitatif du risque climatique ; à collecter les bonnes pratiques sur les investissements et la gestion actif/passif des assureurs ; à évaluer dans quelle mesure les assureurs prennent en compte le risque de durabilité dans la conception et la tarification des produits d'assurance.

L'EIOPA et l'ESMA devant rendre un **avis technique sur l'intégration des risques de durabilité au sein de Solvabilité 2** à la Commission Européenne avant le 30 avril 2019, l'EIOPA avait lancé, en novembre 2018, une réflexion publique sur l'ébauche des modifications à apporter aux actes délégués de la norme Solvabilité 2 et de l'IDD (*Insurance Distribution Directive*). Après avoir analysé les retours de l'IRSG (*Insurance and Reinsurance Stakeholder Group*) et des 27 autres participants<sup>14</sup>, l'EIOPA a modifié son avis en conséquence.

De plus, l'EIOPA ayant été mandaté pour rendre une **opinion sur la durabilité au sein de Solvabilité 2**, avant le 30 septembre 2019, l'organisation a publié - en janvier 2019 - un questionnaire à destination des acteurs de l'assurance<sup>15</sup> sur les questions de prise en compte du risque de durabilité au sein de leurs entités, a permis à l'EIOPA de compléter son opinion.

Finalement, le 30 avril 2019, l'EIOPA a publié un avis technique : "*Technical advice on the integration of sustainability risks and factors in Solvency II and the Insurance*

---

13. La Commission a incité l'EIOPA et l'ESMA à travailler main dans la main dans la préparation de leurs avis techniques afin d'assurer la cohérence de ceux-ci dans les différents secteurs d'application.

14. 13 associations du secteur d'activité, 4 groupes ou entreprises de (ré)assurance, 2 représentants de consommateurs et 8 autres participants.

15. Au total, 153 entreprises individuelles et 31 groupes ont répondu au questionnaire.

*Distribution Directive*" [13] et le 30 septembre 2019, une opinion sur la durabilité au sein de la norme Solvabilité 2 : "*Opinion on Sustainability within Solvency II*" [14].

Suite à ces publications, la Commission Européenne a modifié les règlements délégués. De plus, dans le cadre de la révision de la directive Solvabilité II, un mandat a été confié à l'EIOPA sur l'intégration des risques de durabilité dans le pilier I de la norme, afin d'indiquer quels aspects du calibrage du module de risque de la formule standard n'intègre pas assez le risque de durabilité, et dans quelle mesure ce calibrage est à ajuster. Dans la suite, ces points seront détaillés.

Le calendrier de la révision de la Solvabilité 2, concernant la durabilité, est le suivant :

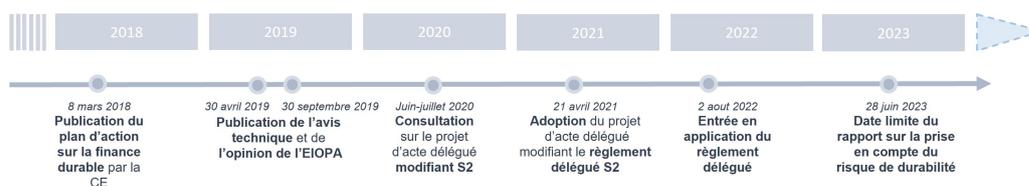


FIGURE 2.8 – Calendrier de révision de la Solvabilité 2

### 2.3.1 Avis technique et opinion de l'EIOPA

#### Avis technique

Dans son avis technique, publié le 30 avril 2019, l'EIOPA indique que d'un point de vue prudentiel, les risques et facteurs de durabilité pourraient affecter les investissements des entreprises d'assurance et de réassurance vie et non-vie. Aussi, l'avis technique se concentre sur l'intégration des facteurs et des risques liés à la durabilité dans le processus de décision d'investissement des entreprises.

Néanmoins, selon l'EIOPA, un déséquilibre se produirait si les facteurs et les risques de durabilité étaient intégrés à l'actif et non au passif. C'est pour cette raison que des propositions sont faites des deux côtés du bilan dans les domaines d'exigences organisationnelles, de conditions opérationnelles et de gestion des risques.

L'avis explique que les risques de durabilité doivent être pris en compte dans le processus de gestion des risques (ORSA) mais également dans le processus de décision de l'AMSB (Organe d'administration, de gestion et de contrôle)<sup>16</sup>.

Néanmoins, selon l'EIOPA et l'ESMA il est préférable d'intégrer les risques de durabilité explicitement dans certaines notions du système de gouvernance du fait du caractère nouveau des risques de durabilité.

La fonction de gestion des risques est affectée par l'intégration des risques de durabilités dans le processus de décision d'investissement et devrait, de fait, contrôler la correcte évaluation des risques liés aux investissements durables.

16. Garant de la gestion saine et prudente de l'activité assurantielle

De plus, l'avis explique qu'évaluer les risques de durabilité sur leurs investissements permettrait aux entreprises d'assurance d'agir dans le meilleur intérêt des preneurs d'assurance et des bénéficiaires, comme l'exige le principe de la personne prudente.

Ainsi, l'organisation recommande de modifier certains articles des règlements délégués de Solvabilité 2 afin d'intégrer les risques de durabilité dans le système de gouvernance des entreprises d'assurance et de réassurance, dans l'évaluation de leur besoin global de solvabilité, dans le « principe de la personne prudente », et dans la prise en considération des préférences clients en matière de durabilité dans le processus d'investissement.

### Opinion

Également demandée par la Commission européenne, la revue "*Opinion on Sustainability within Solvency II*" – publiée par l'EIOPA le 30 septembre 2019 – traite de l'intégration des critères de durabilité dans les pratiques de souscription et de calcul du *best estimate* des assureurs mais également de l'impact que pourraient avoir les règles prudentielles sur les investissements durables.

Si l'avis technique *Technical advice on the integration of sustainability risks and factors in Solvency II and the Insurance Distribution Directive* se focalise sur l'intégration des risques de durabilité dans le Pilier 2 de Solvabilité 2, l'*Opinion*, traite leur intégration dans le Pilier 1.

Aussi, les sujets abordés dans l'opinion, sont l'intégration du risque de durabilité dans l'évaluation des actifs et passifs, les pratiques d'investissement et de souscription, les exigences en capital et modèles internes.

En introduction, l'organisation explique que, pour intégrer les risques de durabilité dans le Pilier 1, il faut considérer que :

- Le capital requis en Solvabilité 2 est calibré sur un horizon à 1 an alors que le risque de durabilité est un risque long terme – en particulier le risque climatique – ce qui présente une difficulté dans l'intégration de ces risques au Pilier 1.
- Les acteurs de marché ont tendance à penser qu'ils ont entre 10 à 20 ans pour adapter leurs stratégies d'investissement. Ils sont donc peu incités à investir sur des actifs durables. L'EIOPA fait un parallèle avec le comportement, inventé par Mark Carney, de « tragédie des horizons » : c'est le fait que les conséquences du réchauffement climatique et des actions prises aujourd'hui auront un impact néfaste pour les générations futures, au-delà des échéances de la plupart des individus actuels.

L'EIOPA explique qu'elle n'a, pour le moment, aucune preuve attestant que le cadre d'investissement de Solvabilité 2 incite ou non les assureurs à investir dans des actifs durables. Cependant, dans la formule standard, les sous-modules du module risque de marché les plus à-même d'être sensibles au risque de durabilité sont les sous-modules

actions, spread et immobilier.

Pour le sous-module de risque action :

L'EIOPA explique qu'avec les données actuelles, il n'a pas été mis en évidence d'une différence significative, pour des actions cotées, entre le profil de risque d'une action durable et le profil de risque d'autres actions. Ces études et leurs conclusions pourront être amenées à évoluer sur les prochaines années, notamment avec l'accroissement de la profondeur d'historique de données disponibles, ainsi que la fiabilisation de ces dernières. Le risque de durabilité aura, sans nul doute, un impact croissant sur le secteur de l'assurance dans les prochaines années. L'EIOPA recommande donc aux assureurs d'évaluer leur exposition à ce risque. L'organisation donne pour exemple : « le risque de transition de la réévaluation des actifs [qui] pourrait survenir soudainement, avec des conséquences importantes, affectant les investissements illiquides potentiellement à long terme. »

### 2.3.2 Modification du règlement délégué

Afin d'intégrer le risque de durabilité chez les acteurs assurantiels, la Commission Européenne a adopté des projets d'actes délégués le 21 avril 2021. Basé sur l'avis technique de l'EIOPA du 30 avril 2019, le règlement délégué (UE) 2021/1256 a été publié le 2 août 2021 au JOUE. Il modifie notamment la directive Solvabilité 2, intégrant « des risques en matière de durabilité dans la gouvernance des entreprises d'assurance et de réassurance » (Journal officiel de l'Union européenne). Ce règlement est en vigueur depuis le 2 août 2022 au niveau national.

Conformément aux modifications proposées dans l'avis techniques de l'EIOPA, les principales modifications adoptées par le Commission sont :

— **Dans le système de gouvernance :**

- Les risques en matière de durabilité doivent être intégrés dans les politiques des branches de « souscription et provisionnement » et « gestion du risque d'investissement ».
- Le système de gestion des risques doit inclure des politiques de gestion et d'évaluation des risques en matière de durabilité (résulte d'hypothèses de provisionnement et de tarification). Ceux-ci doivent être identifiés, gérés et évalués de manière correcte.
- La politique de rémunération doit expliquer la manière dont elle intègre les risques en matière de durabilité dans le système de gestion des risques.
- L'effet des risques en matière de durabilité doit être intégré dans l'avis émis par la fonction actuarielle sur la politique de souscription.

— **Dans l'évaluation de leur besoin global de solvabilité :**

La fonction de gestion des risques a l'obligation de prendre en compte les risques en matière de durabilité. Les risques émergeant qui sont identifiés par la fonction de gestion des risques et les risques en matière de durabilité doivent être pris en compte dans le besoin global de solvabilité.

— **Dans le principe de la « personne prudente » :**

Les risques découlant des investissements doivent prendre en compte les risques en matière de durabilité dans leur identification, leur mesure, leur suivi, leur contrôle et leur évaluation.

Ainsi, la modification du règlement délégué de Solvabilité 2 s'assure, pour le moment, de l'intégration des risques de durabilité, dans le Pilier II (dans la gouvernance des entreprises de (ré)assurance et dans le principe de la « personne prudente ») ; des potentielles modifications sur le Pilier I sont en cours d'étude.

### 2.3.3 Proposition de directive en vue de la révision de la directive Solvabilité 2

Le 29 septembre 2021, a été publiée la proposition de directive en vue de la révision de la directive Solvabilité II. L'**article 304a** y est introduit, prévoyant de confier deux mandats à l'EIOPA à propos des risques de durabilité.

Le premier mandat concerne d'éventuelles modifications de la formule standard Solvabilité 2, en prenant en compte le risque de durabilité. En effet, la Commission européenne demande à l'EIOPA « *si un traitement prudentiel spécifique des expositions liées aux actifs ou activités étroitement liées à des objectifs environnementaux ou sociaux serait justifié. En particulier, l'AEAPP évalue les effets potentiels sur la protection des preneurs d'assurance et sur la stabilité financière dans l'Union d'un traitement prudentiel spécifique des expositions liées aux actifs et activités qui sont étroitement liées à des objectifs environnementaux ou sociaux ou qui sont étroitement liés à un préjudice important causé à ces objectifs.* ».

L'EIOPA devra rendre ses conclusions ainsi qu'une analyse de l'impact des modifications proposées sur les entreprises de (ré)assurance avant le 28 juin 2023.

Entre autres, une étude doit être menée par l'EIOPA pour déterminer s'il serait justifié de modifier les chocs de la formule standard afin d'appliquer un choc variable en fonction de la typologie environnementale/sociale/gouvernementale des actifs. Plusieurs hypothèses peuvent être faites sur les objectifs de ces chocs :

- Appliquer des chocs réduits sur les actifs dits « *verts* ».
- et / ou
- Appliquer des chocs plus importants sur les actifs dits « *bruns* ».

Lors de la conférence *Comment atteindre les objectifs de réduction d'émissions dans le portefeuille d'investissement ?* animée par Yann Duvaut Schelnast, Valérie Stephan et Bethsabée Illouz à la 21ème édition du Congrès des Actuaires, ces dernières ont présenté leurs avis sur la modification des chocs sur les actifs. Selon V. Stephan, l'idée serait d'appliquer des chocs réduits aux actifs dits « *verts* » et non pas de défavoriser les actifs dits « *bruns* » avec des chocs supplémentaires. Le concept inhérent à ce scénario est de minimiser l'impact instantané sur le portefeuille de l'assureur de la prise en compte des

critères ESG. Un choc supplémentaire sur les actifs bruns nécessiterait alors de choquer de façon accentuée la quasi-totalité du portefeuille de l'assureur, une situation pour laquelle les acteurs du marché ne seraient pas prêts à court terme. Autre sujet évoqué durant cette conférence : la calibration des chocs ESG. Une proposition développée par B. Illouz traite de l'analyse historique des spreads des différents actifs composants le portefeuille afin de calibrer les chocs à imputer aux différentes catégories d'actifs. Cette approche par le risque serait similaire de celle qui a été réalisée par le passé pour les actifs de catégorie « infrastructure », bien que dans le cas des actifs ESG la profondeur d'historique soit moindre, par conséquent l'exercice plus complexe.

Enfin, autre sujet clef associé à ces problématiques : la définition des critères permettant de classer les actifs en différentes catégories ESG, le périmètre des sources de notations reconnues comme fiables par l'EIOPA, l'étalonnage des différentes échelles de notations, seuils à considérer pour distinguer les actifs bruns des actifs verts, la prise en compte des notations internes pour les investissements non cotés, . . .

Nombreuses sont les problématiques nécessitant un arbitrage avant de pouvoir intégrer durablement avec cohérence et fiabilité les critères ESG dans le Pilier 1 de Solvabilité 2. La question posée n'étant plus « quand » sera réalisée cette intégration, mais plutôt « comment » ce projet sera mené à bien, et quels impacts il aura sur le marché des assureurs.

Finalement, ce chapitre montre que les investissements durables sont soumis à des réglementations en partie déjà établies mais qui continuent rapidement de se développer. Ces réglementations encadrent et incitent les investisseurs à intégrer les enjeux ESG dans leurs stratégies d'investissement.

Dans ce cadre réglementaire en pleine évolution, les actuaires se doivent par conséquent de faire évoluer leurs méthodes d'analyse afin d'intégrer les enjeux ESG dans leurs gestion du risque.

## Chapitre 3

# Intégration des enjeux ESG dans l'optimisation d'un portefeuille actions

Si l'intégration des critères extra-financiers devient de plus en plus fréquente sur la place, motivée par des intérêts environnementaux, sociétaux et gouvernementaux, ou par des intérêts financiers, le développement des réglementations sur ce sujet entraîne les assureurs à faire évoluer leurs stratégies d'investissement.

Ainsi, le but de ce chapitre est d'intégrer les enjeux ESG dans le processus d'allocation du portefeuille actions de l'assureur, et ce au même titre que le rendement et le risque.

Ainsi, il sera déterminé une fonction d'utilité de l'investisseur, intégrant les notations ESG<sup>1</sup> (cf 1.3.1), afin de :

1. Déterminer l'allocation optimale d'un portefeuille selon le triptyque rendement / risque / ESG ;
2. Déterminer l'allocation optimale d'un portefeuille selon le triptyque rendement / risque / ESG et en minimisant la dispersion de ses notes ESG.

L'étude de ce mémoire se base sur un portefeuille investi uniquement en **actions**, à améliorer, d'un point de vue ESG. Pourquoi ne s'intéresser qu'uniquement à la poche actions ?

- La poche actions est plus adaptée à des enjeux d'allocation stratégique (long terme) et tactiques (court terme). En effet, les actions sont plus liquides, offrent un pilotage plus simple et ont moins d'enjeux actif/passif par rapport aux obligations (e.g. gap de liquidité, de duration, engagements de détention jusqu'à maturité, éventuels adossements au passif, ...).

---

1. Les notations ESG utilisées sont les notes du fournisseur de données Sustainalytics.

- Les investisseurs utilisent majoritairement des stratégies ESG basées sur la classe actions. Ce constat est notamment illustré par l'étude *The EDHEC European ETF, Smart Beta and Factor Investing Survey* publiée en septembre 2022 par l'EDHEC-Risk Institute [15] qui montre un intérêt croissant pour l'intégration des enjeux ESG dans les stratégies d'investissement : les participants à l'enquête disent investir majoritairement dans la classe *Equity* (à 82%) suivie par le *Fixed-income* (à 57%). Avec l'accroissement des exigences de reporting et de transparence, il fait sens de s'attendre à ce que les exigences des investisseurs individuels soient les mêmes pour tous leurs investissements, directs comme indirects.
- Les stratégies ESG varient selon les classes d'actifs. Ainsi, le mémoire portant sur l'intégration de la note ESG dans l'optimisation du portefeuille, il est plus simple de se spécifier une classe d'actifs particulière ; ici la classe actions.

### 3.1 Définitions financières et théorie moderne du portefeuille

Ce chapitre portant sur le domaine financier du monde de l'actuariat, quelques rappels sur différentes notions financières seront énoncés.

#### 3.1.1 Quelques rappels de définitions financières

Dans cette sous-partie, seront rappelées des mesures financières de base ainsi que des ratios de performance.

##### Mesures de base

**Rendement** Le rendement d'un actif représente le gain obtenu sur l'actif sur une certaine période.

Le rendement d'un actif peut être calculé de 2 manières différentes :

- rendement arithmétique :  $R_i^{ar} = \frac{V_{i_t} - V_{i_{t-1}}}{V_{i_{t-1}}}$
- rendement logarithmique :  $R_i^{log} = \ln\left(\frac{V_{i_t}}{V_{i_{t-1}}}\right)$

Avec  $V_{i_t}$  la valeur de l'actif  $i$  à date  $t$ .

Ainsi, pour un portefeuille contenant  $n$  actifs, le rendement du portefeuille est considéré comme la somme des rendements des actifs pondérés par leur poids en portefeuille à date  $t$  de calcul du rendement :

$$R_{P_t} = \sum_{i=1}^n x_i R_{i_t}$$

De plus, en comparant les rendements arithmétiques et logarithmique, il est à noter que :

$$R_{i_t}^{ar} = \frac{V_{i_t}}{V_{i_t-1}} - 1 \text{ et donc } R_{i_t}^{log} = \ln(R_{i_t}^{ar} + 1)$$

Or, le Développement Limité de  $\ln(1+x)$  au voisinage de 0, est le suivant :

$$\ln(1+x) \underset{x \rightarrow 0}{=} x - \frac{x^2}{2} + \dots + (-1)^{n-1} \frac{x^n}{n} + o(x^n) \underset{x \rightarrow 0}{=} \sum_{k=1}^n (-1)^{k-1} \frac{x^k}{k} + o(x^n)$$

Ainsi à l'ordre 2 :  $R_{i_t}^{log} \approx R_{i_t}^{ar} - \frac{R_{i_t}^{ar2}}{2} + o(R_{i_t}^{ar3})$

Le rendement logarithmique sous-évalue donc le rendement par rapport au rendement arithmétique.

Cependant, le rendement moyen sur plusieurs périodes est une moyenne arithmétique (resp. géométrique) pour un rendement logarithmique (resp. arithmétique). Autrement dit, le rendement arithmétique a la faiblesse de ne pas pouvoir s'additionner au fil des périodes. Par exemple, un rendement de 5% suivi d'un autre rendement d'encore 5% ne donneront pas un rendement total de 10%. Le rendement logarithmique permet plus de stabilité numérique et de significativité statistique que le rendement arithmétique. De fait, **le rendement logarithmique sera préféré.**

**Performance cumulée** La performance cumulée représente le rendement global d'un actif ou d'un portefeuille, obtenu sur l'horizon d'investissement. Notée  $PC$ , elle est définie par :

$$PC = \ln \left( \frac{\text{Valeur finale}}{\text{Valeur initiale}} \right)$$

Où :

- *Valeur initiale* : est la valeur d'un actif ou d'un portefeuille au début de l'horizon d'investissement ;
- *Valeur finale* : est la valeur d'un actif ou d'un portefeuille à la fin de l'horizon d'investissement.

**Volatilité** La volatilité d'un actif représente l'ampleur des variations du cours de l'actif.

Mathématiquement, c'est l'écart-type de la rentabilité de l'actif. C'est une mesure de risque de l'actif financier : plus la volatilité est élevée, plus le risque est grand et inversement. Mathématiquement :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}$$

Avec :

- $n$  le nombre de jours de cotations ;
- $R_i$  le rendement de l'actif en date  $i$  ;
- $\bar{R}$  la moyenne des rendements sur les  $n$  jours.

En supposant l'hypothèse gaussienne comme respectée, la volatilité annuelle peut être estimée à partir de la volatilité journalière selon la formule suivante :

$$\sigma_{annuelle} = \sigma_{journalière} \sqrt{252}$$

252 étant considéré comme le nombre de jours de cotation dans une année.

### Les ratios de performance

**Le ratio de Sharpe** Introduit en 1966 dans un article du « Journal of Business » [16] par le prix Nobel d'économie William F. Sharpe, ce ratio permet aux investisseurs de comprendre le rendement d'un investissement par rapport à son risque. Le ratio est le rendement moyen obtenu en plus du taux sans risque par unité de volatilité totale du portefeuille.

Noté  $S$ , le ratio de Sharpe est défini comme :

$$S = \frac{R_P - R_f}{\sigma_P}$$

Avec :

- $R_P$  le rendement du portefeuille ;
- $R_f$  le taux sans risque ;
- $\sigma_P$  l'écart-type du portefeuille.

3 catégories se distinguent, selon la valeur prise par ce ratio :

- *Sharpe ratio*  $\leq 0$  : signifie que le portefeuille performe moins bien qu'un placement sans risque. Sur la base unique du rendement par unité de risque, ce portefeuille ne présente pas d'intérêt.
- $0 \leq$  *Sharpe ratio*  $\leq 1$  : signifie que le rendement excédentaire est inférieur au risque pris par le portefeuille.
- *Sharpe ratio*  $\geq 1$  : signifie que le rendement excédentaire est supérieur au risque pris par le portefeuille. L'investisseur surperforme un placement sans risque et a donc tout intérêt à investir dans ce portefeuille.

Ainsi, plus le ratio de Sharpe est élevé, meilleure est la combinaison rendement/risque. Dans le cas traditionnel d'un investisseur averse au risque, il cherchera à maximiser ce ratio au niveau du portefeuille, i.e. à minimiser la volatilité pour un rendement donné.

**Le ratio de Sortino** Introduit dans un article de "The Journal of Investing Fall" [17], le ratio de Sortino, nommé d'après Frank A. Sortino, est une variante du ratio de Sharpe qui différencie la volatilité à la baisse de la volatilité totale – utilisée dans le ratio de

Sharpe.

En effet, l'écart type calcule le risque comme la dispersion des deux côtés de la moyenne. Il faudrait donc prendre en compte l'éventuelle asymétrie des rendements des actifs financiers en distinguant « bonne » et « mauvaise » volatilité. La volatilité ne présente un risque pour l'investisseur que lors de périodes de baisse. Pendant des périodes de volatilité à la hausse, la volatilité ne présente un risque pour l'investisseur que lors de périodes de baisse, les périodes de hausse ne représentant pas un risque en tant que tel.

L'idée de Sortino est donc de ne mesurer le risque que par rapport à la volatilité à la baisse par rapport à un indicateur de référence (le MAR : *Minimal Acceptable Return*). Noté  $SR$ , il est défini comme :

$$SR = \frac{R_P - MAR}{\sigma_{DR}}$$

Avec :

- $R_P$  le rendement du portefeuille ;
- $MAR$  le *Minimal Acceptable Return* ;
- $\sigma_{DR}$  la volatilité du *Downside Risk* i.e. l'écart-type des rendements à la baisse (inférieurs au  $MAR$ ) du portefeuille :

$$\sigma_{DR} = \sqrt{\frac{1}{n_{MAR}} \sum_{i=1}^n \mathbb{1}_{R_i \leq MAR} (R_i - MAR)^2}$$

Avec :

- $n$  le nombre de jours de cotations ;
- $n_{MAR} = \sum_{i=1}^n \mathbb{1}_{R_i \leq MAR}$  le nombre d'observations en dessous du  $MAR$  ;
- $R_i$  le rendement du portefeuille en date  $i$ .

Ainsi, cette mesure de risque est conforme à un objectif de performance défini à l'avance : le  $MAR$ . Comme pour le ratio de Sharpe, l'objectif du gestionnaire est de maximiser ce ratio i.e. de maximiser les rendements du portefeuille sur l'horizon d'investissement, par rapport au risque de baisse observé pendant cette période.

### Relation entre les ratios de Sharpe et de Sortino

Contrairement au ratio de Sharpe qui prend en compte la volatilité totale (symétrie), le ratio de Sortino ne prend en compte qu'une partie de la volatilité (dissymétrie).

Le ratio de Sortino est donc intéressant dans le cadre de distributions de rendements asymétriques. Ainsi, le ratio de Sharpe est préféré, par les gestionnaires, pour des portefeuilles à faible volatilité, et le ratio de Sortino pour des portefeuilles à volatilité élevée.

### 3.1.2 La théorie moderne de portefeuille

Les modèles classiques d'optimisation de portefeuilles sont présentés ci-après. Ceux-ci se basent sur l'hypothèse que les investisseurs rationnels sont averses au risque : ils cherchent

à le minimiser.

Dans la suite de la section, les notations sont les suivantes.

- $n$  : le nombre d'actifs  $(X_i)_{i \in [1, n]}$  constituant un portefeuille ;
- $M = (\mu_i)_{i \in [1, n]}$  : la moyenne des rendements des actifs supposés gaussiens ;
- $\Sigma = (\sigma_{ij})_{i, j \in [1, n]}$  : la matrice de variance-covariance  
où  $\sigma_{ij} = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$  avec :
  - $\rho_{ij} = \frac{\text{Cov}(X_i, X_j)}{\sigma_i \sigma_j}$  le coefficient de corrélation ;
  - $\sigma_i$  (*resp.*  $\sigma_j$ ) : l'écart-type du rendement du titre  $i$  (*resp.*  $j$ ).
- $\omega = (\omega_i)_{i \in [1, n]}$  : les poids des actifs en portefeuille.

### Portefeuille à variance minimale

Le portefeuille à variance minimale est défini comme le portefeuille dont les pondérations minimisent la variance.

Ce problème de minimisation est formulé de la manière suivante :

$$(P_{VM}) \begin{cases} \min_{\omega \in \mathbb{R}^n} \omega^T \Sigma \omega \\ \text{sous contrainte que } \omega^T e = 1 \end{cases}$$

où  $e$  est le vecteur unitaire.

Les problèmes d'optimisation peuvent être résolus grâce à la **méthode du Lagrangien** qui permet de trouver les extremums d'une fonction sous contrainte.

Les conditions du 1<sup>er</sup> ordre et du 2<sup>nd</sup> ordre permettent de déterminer l'allocation optimale du portefeuille et sa variance minimale associée<sup>2</sup> :

- L'allocation optimale  $\omega^*$  est :
 
$$\omega^* = \frac{\Sigma^{-1} e}{e^T \Sigma^{-1} e}$$
- Dont la variance associée  $\sigma^{2*}$  est :
 
$$\sigma^{2*} = \frac{1}{e^T \Sigma^{-1} e}$$

### Le modèle de Markowitz

En 1952, Markowitz propose une nouvelle théorie formalisant le problème d'allocation d'actifs. Il fait le postulat suivant : un investisseur rationnel souhaite rémunérer les risques qu'il prend.

---

2. La résolution du problème du portefeuille à variance minimale est détaillée en Annexes.

Se basant sur cette hypothèse, il détermine un portefeuille optimal comme étant un portefeuille où il n'est pas possible d'augmenter le rendement sans prendre d'avantage de risques.

Ainsi, le portefeuille efficient représente un portefeuille pour lequel la rentabilité moyenne est maximale pour un niveau de risque donné, ou alors pour lequel le risque est minimal pour une rentabilité donnée.

La frontière efficiente est constituée de tous les portefeuilles efficients, ayant un couple rendement/risque optimal. Sous l'hypothèse de normalité des rendements, Markowitz a démontré que cette frontière efficiente est décrite par une branche d'hyperbole.

Afin de déterminer la frontière efficiente, le but est de déterminer les poids  $\omega = (\omega_i)_{i \in [1, n]}$  du portefeuille tels que  $\sum_{i=0}^n \omega_i = 1$  qui minimisent la volatilité  $\sigma^2 = \omega^T \Sigma \omega$ , pour un rendement  $R = \omega^T M$  donné.

Le problème d'optimisation est formulé comme :

$$(P) \begin{cases} \min_{\omega \in \mathbb{R}^n} \omega^T \Sigma \omega \\ \text{sous contraintes que } \omega^T e = 1 \text{ et } R = \omega^T M \end{cases}$$

La résolution de ce problème d'optimisation avec la méthode du Lagrangien a été proposée par Merton en 1972. L'allocation optimale  $\omega^*$  ainsi obtenue est la suivante<sup>3</sup> :

$$\omega^* = \frac{1}{d} ((cR - a)\Sigma^{-1}M + (b - aR)\Sigma^{-1}e)$$

La variance  $\sigma^{2*}$  correspondante est :

$$\sigma^{2*} = \frac{1}{d} (cR^2 - 2aR + b)$$

$$\text{avec : } \begin{cases} a = e^T \Sigma^{-1} M \\ b = M^T \Sigma^{-1} M \\ c = e^T \Sigma^{-1} e \end{cases}$$

La résolution du problème correspond effectivement à une branche d'hyperbole dans le repère volatilité-rendement :

---

3. La résolution du problème d'optimisation de Markowitz est détaillée en Annexes.

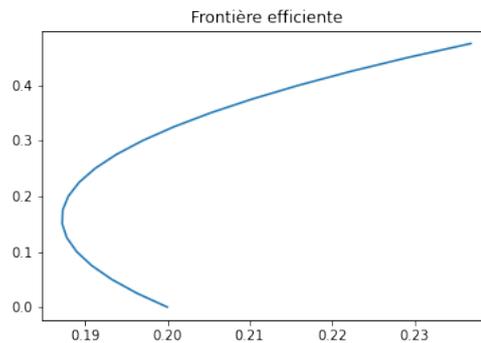


FIGURE 3.1 – Frontière efficiente du portefeuille

Ainsi, pour un rendement donné choisit par l'investisseur, celui-ci peut déterminer le risque associé et l'allocation optimale de son portefeuille.

Finalement, l'investisseur va chercher à maximiser son utilité.

### 3.1.3 L'utilité de l'investisseur

En micro-économie, l'utilité représente la satisfaction d'un consommateur procurée par la consommation d'un bien ou d'un service.

Parfois appelée « fonction du bonheur », l'utilité représente pour le consommateur ses préférences. Elle permet de classer des paniers selon la note que leur attribue l'investisseur.

#### La fonction d'utilité

La fonction d'utilité doit refléter – pour l'investisseur rationnel :

- Son appétit pour la richesse ;
- Son aversion au risque.

La fonction doit ainsi être dérivable 2 fois et être :

- Monotone croissante – car l'utilité croît avec la richesse ;
- Concave – car l'utilité marginale décroît avec la richesse.

Aussi, la fonction d'utilité  $U$  vérifie :

$$\frac{\partial U}{\partial x}(x) > 0 \text{ et } \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}(x) < 0$$

#### Les fonctions de CARA

Les fonctions de CARA<sup>4</sup> sont les fonctions d'utilité définies sous forme exponentielle :

$$u(x) = -\frac{1}{\alpha} \exp(-\alpha x), \quad \alpha > 0$$

---

4. Constant Absolute Risk Aversion

Les dérivés première et seconde de cette fonction sont :

$$\begin{aligned} u'(x) &= \exp(-\alpha x) > 0 \\ u''(x) &= -\alpha \exp(-\alpha x) < 0 \end{aligned}$$

La fonction de CARA étant monotone croissante, elle représente des préférences risquo-phobes.

Aussi, cette fonction porte ce nom car son coefficient d'aversion au risque est constant :

$$A_a(x) = -\frac{u''(x)}{u'(x)} = \alpha$$

### L'utilité linéaire de Markowitz

Soit un investisseur :

- dont les préférences représentées par la fonction d'utilité de CARA :  
 $u(x) = -\frac{1}{\alpha} \exp(-\alpha(x + \gamma))$ ,  $\alpha > 0, \gamma \in \mathbb{R}$ .
- dont la richesse  $W$  est supposée suivre une loi normale :  $\mathcal{N}(m, \sigma_W^2)$

Soit  $Z$  une variable aléatoire telle que  $Z = \exp(W)$  i.e.  $W = \ln(Z)$ .

Ainsi,

$$\begin{aligned} \ln(Z^{-\alpha} \exp(-\alpha\gamma)) &= -\alpha \ln(Z) - \alpha\gamma = -\alpha(W + \gamma) \\ \Rightarrow \exp(-\alpha(\ln(Z) + \gamma)) &= \exp(-\alpha(W + \gamma)) \end{aligned}$$

Or, comme  $W = \ln(Z)$  suit une loi normale,  $-\alpha(\ln(Z) + \gamma)$  suit également une loi normale, de moments :

$$\begin{aligned} \mathbb{E}(-\alpha(\ln(Z) + \gamma)) &= -\alpha(\mathbb{E}(\ln(Z)) + \gamma) = -\alpha(m + \gamma) \\ V(-\alpha(\ln(Z) + \gamma)) &= \alpha^2 V(\ln(Z)) = \alpha^2 \sigma_W^2 \end{aligned}$$

Donc  $\exp(-\alpha(\ln(Z) + \gamma))$  suit une loi log normale d'espérance  $\exp\left(-\alpha(m + \gamma) + \frac{\alpha^2}{2} \sigma_W^2\right)$ .

L'espérance d'utilité définie par  $U(W) = \mathbb{E}(u(W))$  est alors :

$$\mathbb{E}(u(W)) = -\frac{1}{\alpha} \mathbb{E}(\exp(-\alpha(W + \gamma))) = -\frac{1}{\alpha} \exp\left(-\alpha(m + \gamma) + \frac{\alpha^2}{2} \sigma_W^2\right)$$

Ici :

$$U(W) = f\left(m + \gamma - \frac{\alpha}{2} \sigma_W^2\right)$$

où :  $f(x) = -\frac{1}{\alpha} \exp(-\alpha x)$ .

La fonction  $f$  étant une fonction monotone croissante,  $f^{-1}$  l'est aussi.

Aussi, on peut prendre comme fonction d'utilité toute transformée croissante de la fonction d'utilité car elle conserve les préférences de celle-ci. Ainsi :

$$U(W) = f^{-1}(U(W)) = m + \gamma - \frac{\alpha}{2} \sigma_W^2 = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2} V(W) + \gamma$$

### 3.2. L'INTÉGRATION DES ENJEUX ESG DANS L'UTILITÉ DE L'INVESTISSEUR

L'utilité est donc une fonction du rendement, du risque et d'une composante  $\gamma$ , indépendante du rendement et du risque.

Cette composante sera utilisée dans la suite pour intégrer les enjeux extra-financiers.

En prenant  $\gamma = 0$ , est ainsi retrouvée la forme définie dans le cadre du critère espérance-variance, de l'utilité linéaire de Markowitz :

$$U_M(W) = f(\mathbb{E}(W), \sigma_W^2) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2} \sigma_W^2$$

Où  $\alpha$  est le coefficient de *risk appetite* de l'investisseur définit tel que :

- $\alpha > 0$  : l'investisseur est averse au risque ;
- $\alpha = 0$  : l'investisseur est risque-neutre ;
- $\alpha < 0$  : l'investisseur est risquophile.

## 3.2 L'intégration des enjeux ESG dans l'utilité de l'investisseur

Comme rappelé en introduction de ce chapitre, l'investisseur cherche à intégrer les enjeux ESG dans la recherche de portefeuille optimale, au même titre que le rendement et le risque.

L'investisseur choisirait donc ses portefeuilles selon son profil tripartite rendement / risque / ESG.

Il s'agit alors d'intégrer les notations ESG dans la fonction d'utilité :

$$U(W) = f(\mathbb{E}(W), \sigma_W^2, \overline{esg})$$

La note ESG globale du portefeuille s'exprime comme :

$$\overline{esg} = \omega^T esg = \sum_{i=0}^n \omega_i esg_i$$

Avec,  $esg = (esg_1, esg_2, \dots, esg_n)^T \in [0, N]^n$  qui représente les notes ESG respectives des  $n$  actifs du portefeuille comprises entre 0 et  $N$ , la note ESG maximale.

### 3.2.1 Définition de la fonction d'utilité intégrant les enjeux ESG

Soit un investisseur :

- dont les préférences sont représentées par la fonction d'utilité de CARA :

$$U(W) = -\frac{1}{\alpha} \exp(-\alpha(W + \gamma)), \quad \alpha > 0, \quad \gamma \in \mathbb{R}$$

- dont la richesse  $W$  est supposée suivre une loi normale :  $\mathcal{N}(m, \sigma_W^2)$

Comme montré dans le paragraphe précédent, l'utilité de l'investisseur est définie par :

$$U(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 + \gamma$$

où  $\gamma$  est indépendant de la richesse.

Ici, il sera considéré que  $\gamma = \lambda g_i(\overline{esg})$ . Avec :

- $g_i : [0, N] \rightarrow \mathbb{R}^+$  la fonction de *green appetite*, traduisant l'impact de la notation ESG dans la fonction d'utilité, en fonction de  $i$ , l'intérêt pour les enjeux ESG de l'investisseur.

Cette fonction est définie telle que :

- Plus l'investisseur porte de l'intérêt aux enjeux ESG, plus l'incidence de la notation ESG du portefeuille dans la fonction d'utilité sera élevée ;
- Meilleure est la note ESG du portefeuille, plus l'incidence de cette notation dans la fonction d'utilité sera élevée.

- $\lambda \in \mathbb{R}_+^*$  le coefficient de *green appetite* (décrit dans le paragraphe 3.2.1).

A noter que  $\lambda g_i(\overline{esg})$  est comptabilisé positivement dans la fonction d'utilité - représentant un caractère à maximiser - le postula étant que l'investisseur souhaite améliorer la notation ESG de son portefeuille.

L'utilité, notée  $U_i$ , pour chaque profil d'intérêt aux enjeux ESG  $i \in \llbracket 1, 10 \rrbracket$  s'exprime donc :

$$U_i(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 + \lambda g_i(\overline{esg})$$

Ainsi, il faudra chercher à maximiser l'utilité pour un vecteur de poids :

$$(P_i) : \max_{\omega \in \mathbb{R}^n} (U_i(W)) = \max_{\omega \in \mathbb{R}^n} (\omega^T M - \frac{\alpha}{2}\omega^T \Sigma \omega + \lambda g_i(\omega^T esg))$$

Afin de déterminer la frontière efficiente en intégrant les notations ESG, le but est de déterminer le vecteur des poids  $\omega \in [0, 1]^n$  du portefeuille (tel que la somme des poids est égale à 1), qui minimise la quantité  $\frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 - \lambda g_i(\overline{esg})$ , pour un rendement  $R$  donné.

Le problème d'optimisation est ainsi défini comme <sup>5</sup> :

$$(P_i) \left\{ \begin{array}{l} \min_{\omega \in \mathbb{R}^n} (\omega^T \Sigma \omega - \lambda g_i(\omega^T esg)) \\ \text{sous contraintes que } \omega^T e = 1 \text{ et } R = \omega^T M \end{array} \right.$$

---

5. Il est considéré dans la suite que  $\alpha = 2$ ;

### La fonction de *green appetite*

A l'instar de la fonction de *risk appetite* qui traduit le degré d'aversion au risque de l'investisseur ; la fonction de *green appetite*  $g_i : [0, N] \rightarrow \mathbb{R}^+$  traduit l'impact de la notation ESG dans la fonction d'utilité, en fonction de  $i$  l'intérêt de l'investisseur pour les stratégies ESG.

Plusieurs profils d'intérêt pour l'ESG des investisseurs peuvent être établis – traduisant l'impact qu'ils accordent à la notation ESG dans leurs stratégies d'investissement. Ici, 10 profils seront définis, le 1<sup>er</sup> profil accordant le moins d'importance à l'ESG et le 10<sup>e</sup> profil en accordant le plus.

Ainsi, une fonction de *green appetite*  $g_i : [0, N] \rightarrow \mathbb{R}^+$  sera définie par profil ESG  $i \in \{1, 10\}$ .

Pour calibrer la fonction du *green appetite*, seront considérés les axiomes suivants :

- La fonction croît avec l'amélioration de la note ESG.  
En effet, meilleure est la note ESG du portefeuille, plus l'impact de cette notation dans la fonction d'utilité est élevée - traduisant le désir d'amélioration de la notation ESG du portefeuille.  
Dans le cas des notes Sustainalytics, plus la note est faible, meilleur est l'actif selon les critères ESG considérés. Ainsi, la fonction de *green appetite* sera décroissante i.e. soient  $x, y \in [0, N]$  2 notes ESG alors  $\forall i \in \llbracket 1, 10 \rrbracket, x > y \Rightarrow g_i(x) \leq g_i(y)$  ;
- A note ESG égale, le *green appetite* est supérieur pour un profil accordant plus d'intérêt aux enjeux ESG i.e. soit  $x \in [0, N]$  la note ESG alors  $\forall i, j \in \llbracket 1, 10 \rrbracket, i > j \Rightarrow g_i(x) > g_j(x)$ .

Le 1<sup>er</sup> profil d'investisseur n'accorde aucune importance aux enjeux ESG. Ses stratégies d'investissement sont donc guidées uniquement par le couple rendement-risque et sa fonction d'utilité n'est autre que la fonction d'utilité de Markowitz (i.e.  $\forall x \in [0, N], g_1(x) = 0$ ).

Il faudra noter qu'à l'inverse du *risk appetite* ou le profil risque-neutre se situe au milieu du spectre, l'investisseur ne manifesterà jamais de « *brown appetite* » - d'où la définition des fonctions  $g_i$  de  $[0, N]$  dans  $\mathbb{R}^+$ .

Le 10<sup>e</sup> profil d'investisseur accorde l'importance la plus élevée de tous les profils à l'ESG. Ainsi, ce profil prend en compte la note ESG dans son intégralité dans la fonction d'utilité d'où  $\forall x \in [0, N], g_{10}(x) = x$ .

Les fonctions  $g_i$  sont ainsi définies de  $[0, N]$  dans  $[0, N]$ .

Pour les profils 2 à 9, afin de traduire l'intérêt grandissant de l'investisseur pour les enjeux ESG en fonction de son profil, il est considéré que la contribution de la notation ESG à l'utilité est croissante et linéaire en fonction du profil ESG.

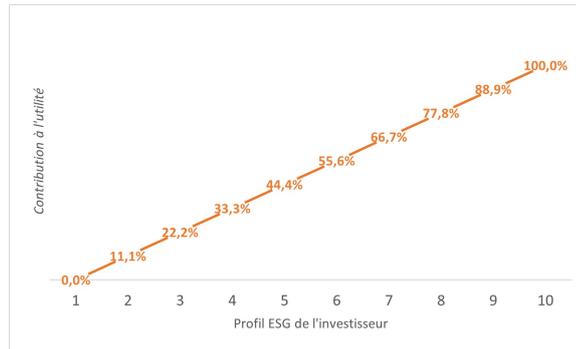


FIGURE 3.2 – % de la note ESG considéré dans la fonction d'utilité en fonction du profil d'intérêt aux enjeux ESG de l'investisseur

Dans le cas des notes Sustainalytics, plus la note ESG est faible, meilleur est l'actif selon les critères ESG considérés. Ainsi, comme évoqué précédemment, la fonction de *green appetite* est décroissante - le *green appetite* étant plus élevé pour des notes faibles. Considérant que la note ESG du portefeuille est entre 0 et  $N$ , les fonctions de *green appetite* selon le profil d'intérêt aux enjeux ESG  $i$  sont définies comme<sup>6</sup> :

- $g_1(x) = 0, \forall x \in [0, N]$
- $g_i(x) = \frac{1}{9}(i - 1)(N - x), \forall i \in [2, 10], \forall x \in [0, N]$

Pour une note ESG comprise entre 0 et  $N = 100$ , les fonctions de *green appetite* sont les suivantes :

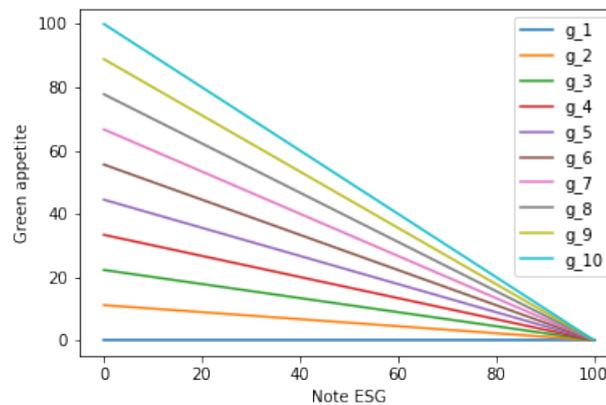


FIGURE 3.3 – Valeur du *green appetite* en fonction du profil ESG de l'investisseur et de la note ESG du portefeuille

6. Le choix a été d'opter pour une modélisation de fonction affine. Des choix alternatifs auraient pu être envisagés (e.g. fonction concave) mais auraient nécessité un paramétrage plus avancé, et donc encore plus sensible aux hypothèses choisies.

## 3.2. L'INTÉGRATION DES ENJEUX ESG DANS L'UTILITÉ DE L'INVESTISSEUR

### Le coefficient de *green appetite*

La fonction de *green appetite* étant intégrée dans la fonction d'utilité de manière additive, dans un souci de cohérence, les valeurs de rendement, risque et ESG doivent avoir le même ordre de grandeur.

Cependant, la fonction de *green appetite* varie entre 0 et 100, et ces valeurs prépondèrent largement les valeurs du rendement et de la variance.

Le coefficient de *green appetite*  $\lambda$  permet ainsi de ramener au même ordre de grandeur les 3 métriques.

Celui-ci est déterminé en se basant sur le ratio rendement/variance. La valeur de  $\lambda$  est déterminée en minimisant la quantité suivante :

$$\min_{\lambda} \sum_{i=1}^n \left( \frac{R_i}{\sigma_i^2} - \frac{R_i}{\lambda g(ESG_i)} \right)$$

Sur  $n = 5000$  portefeuilles testés, est trouvé  $\lambda = \frac{1}{1075}$ .

Ainsi, cette proposition de fonction d'utilité permet de prendre en compte l'ESG, au même titre que le rendement et le risque.

### 3.2.2 Application

Dans cette section, l'optimisation en termes de rendement/risque/ESG est mise en oeuvre sur un portefeuille actions. Ainsi, dans un premier temps, ce portefeuille sera défini et ses métriques étudiées, puis dans un second temps, les résultats de cette optimisation seront mis en évidence.

#### Les données de l'étude

Le portefeuille actions choisi pour l'étude est un portefeuille composé des titres faisant partie de l'indice boursier CAC 40 de la bourse de Paris au 1er juillet 2022. Ces titres sont les actions des sociétés suivantes :

Air Liquide	Danone	Michelin	Stellantis
Airbus	Dassault Systemes	Orange	STMicroelectronics
Alstom	Engie	Pernod Ricard	Teleperformance
Arcelormittal	EssilorLuxottica	Publicis Groupe	Thales
Axa	Eurofins Scientific	Renault	Total Energies
BNP Paribas	Hermes	Safran	Unibail-Rodamco-Westfield
Bouygues	Kering	Saint Gobain	Veolia
Capgemini	Legrand	Sanofi	Vinci
Carrefour	L'Oreal	Schneider Electric	Vivendi
Crédit Agricole	LVMH	Société Générale	Wordline

TABLE 3.1 – Titres du portefeuille

Le CAC 40 est un panier composé de 40 valeurs d'entreprises françaises. Les sociétés sont choisies parmi les 100 sociétés françaises dont les volumes d'échanges de titres sont les plus importants et sont représentatives des différentes branches d'activités. Au même titre que les grands indices mondiaux, le CAC 40, depuis le 1er décembre 2003, utilise le système de capitalisation boursière flottante ; c'est-à-dire que le nombre de titres disponibles à l'achat sur le marché pour une société est pris en compte dans le calcul de l'indice. Ainsi, chaque société a un poids dans l'indice déterminé selon sa capitalisation. Entre autres, l'indice a pour but de refléter la tendance globale de l'économie des grandes entreprises françaises.

Les poids des actifs du portefeuille sont les poids basés sur la capitalisation des actifs au 1er juillet 2022.

Historique de données : La société Worldline n'ayant été introduite en bourse qu'en juin 2014, l'historique de données de cette société n'est disponible qu'à partir de 27 juin 2014. Ainsi, l'historique de données choisi est la période 1er juillet 2014 – 1er juillet 2022 (i.e. un historique de 8 ans).

Les séries temporelles de ces actions sont extraites sur cette période via le package Python *Pandas DataReader* utilisant la source de données *Yahoo Finance*.

### Corrélations

Voici les corrélations entre les actifs :

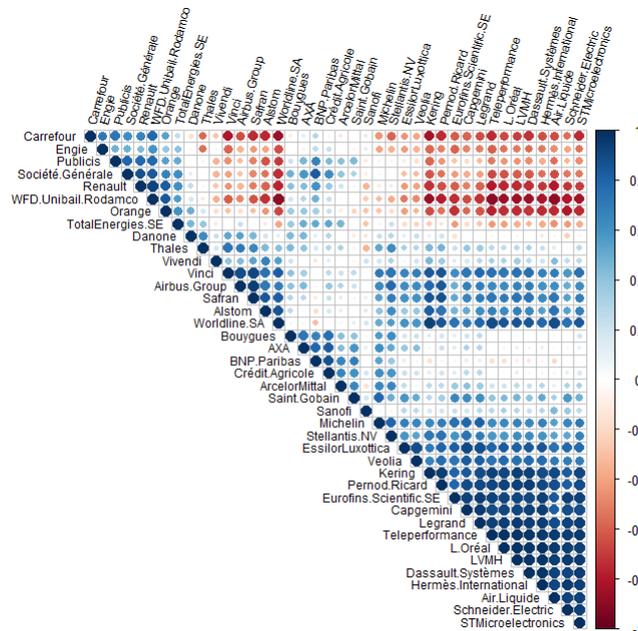


FIGURE 3.4 – Corrélations entre les actifs

### 3.2. L'INTÉGRATION DES ENJEUX ESG DANS L'UTILITÉ DE L'INVESTISSEUR

Nombreux sont les actifs du portefeuille assez corrélés entre eux : sur 800 corrélations, 192 sont supérieures à 0,8 en valeur absolue.

#### Rendement

Sont présentés dans le graphe ci-dessous, la performance cumulée des actifs ainsi que leurs rendements journaliers sur la période 1er juillet 2014 - 1er juillet 2022.

*NB* : Une chute des cours de tous les actifs au début de 2020 est visible : il s'agit de la période Covid.

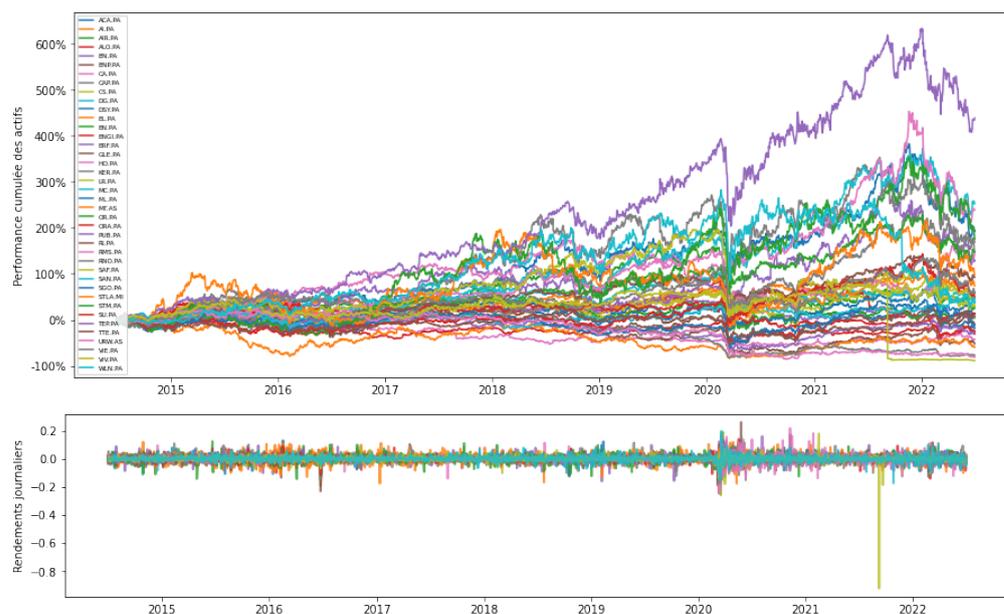


FIGURE 3.5 – Performance cumulée et rendements journaliers des actifs du portefeuille

Un rendement journalier de -0,92 est calculé au 8 septembre 2021 sur l'action Vivendi. Une chute du cours de l'action a été enregistrée entre le 7 et le 8 septembre 2021 en raison de l'introduction à la bourse d'Amsterdam de la filiale musicale UMG qui représentait plus de 45% du chiffre d'affaires de Vivendi.

Sur la période donnée, le rendement du portefeuille est :  $R_P = 10,07\%$

#### Volatilité

Pour rappel, la volatilité annuelle s'exprime à partir de la volatilité journalière – en considérant qu'il y a 252 jours de marché ouvert dans l'année – comme :

$$\sigma_{annuelle} = \sqrt{252} \sigma_{journalière}$$

Les volatilités annuelles par action sont les suivantes :

Titre	Volatilité	Titre	Volatilité	Titre	Volatilité	Titre	Volatilité
Air Liquide	20,93%	Danone	20,23%	Michelin	26,04%	Stellantis	40,17%
Airbus Group	37,29%	Dassault Systèmes	24,88%	Orange	23,07%	STMicroelectronics	39,34%
Alstom	26,73%	Engie	25,26%	Pernod Ricard	19,93%	Teleperformance	26,79%
ArcelorMittal	48,07%	EssilorLuxottica	24,25%	Publicis	29,27%	Thales	25,46%
AXA	28,07%	Eurofins Scientific	32,14%	Renault	39,92%	Total Energies	28,53%
BNP Paribas	32,53%	Hermès	22,36%	Safran	34,73%	Veolia	25,30%
Bouygues	28,98%	Kering	29,95%	Saint Gobain	28,94%	Vinci	27,75%
Capgemini	28,32%	L'Oréal	21,23%	Sanofi	21,88%	Vivendi	41,67%
Carrefour	27,01%	Legrand	23,15%	Schneider Electric	26,21%	Unibail Rodamco Westfield	40,05%
Crédit Agricole	33,15%	LVMH	26,62%	Société Générale	38,16%	Worldline	32,16%

TABLE 3.2 – Volatilités annuelle des actifs du portefeuille

La volatilité annuelle du portefeuille est :  $\sigma_P = 20,48\%$

### Notes ESG

La répartition de notations ESG des titres composants le portefeuille est la suivante :

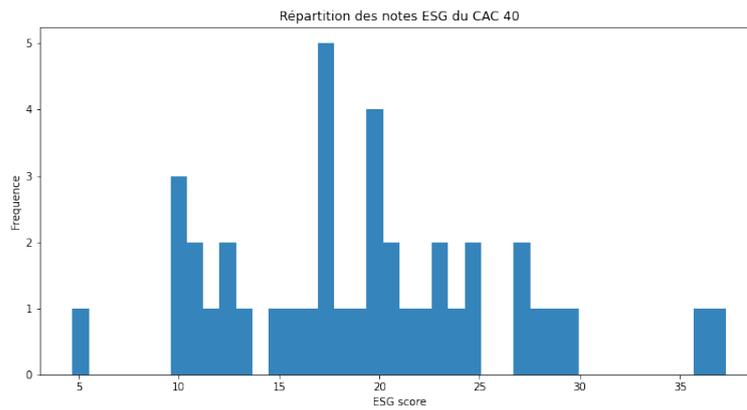


FIGURE 3.6 – Répartition des notations ESG du portefeuille

Sur les actifs considérés en portefeuille, aucun titre n'est classifié comme ayant une note sévère (note supérieure à 40) et seulement un titre a une note négligeable (note inférieure à 10). En effet, l'entreprise ayant la meilleure note du portefeuille est Unibail avec 4,7 et la pire est Arcelor Mittal avec 37,3.

La majorité des actifs composants le portefeuille a une note ESG comprise entre 10 et 30 : 52,5% a une note comprise entre 10 et 20 et 40% une note comprise entre 20 et 30. Seulement 5% a une note supérieure à 30.

La note ESG du portefeuille n'est autre que la somme des notes ESG pondérée par les poids des actifs du portefeuille :

### 3.2. L'INTÉGRATION DES ENJEUX ESG DANS L'UTILITÉ DE L'INVESTISSEUR

$$\overline{esg} = \sum_{i=0}^n \omega_i esg_i$$

Avec  $esg_i$  la note ESG de chaque actif  $i$ ,  $\omega_i$  le poids de l'actif  $i$  en portefeuille et  $n$  le nombre d'actif composant le portefeuille.

Ainsi la note ESG du portefeuille initial, à date du 1er juillet 2022, est :  $\overline{esg}_P = 19,21$ .

*NB : A la différence d'un cours d'action ou d'une donnée financière classique, les notes ESG (données extra-financières) ne sont pas disponibles quotidiennement. En effet, la mise à jour des notes ESG se fait généralement à quelques semaines d'intervalle. Ainsi, il est considéré que la note ESG au 1er juillet 2022 (date de l'étude) est la dernière note disponible i.e. celle du 1er mai 2022.*

#### Les résultats de l'optimisation

Sur le portefeuille décrit précédemment, 50 000 allocations de portefeuilles sont simulées. La frontière efficiente de Markowitz est la suivante<sup>7</sup>.

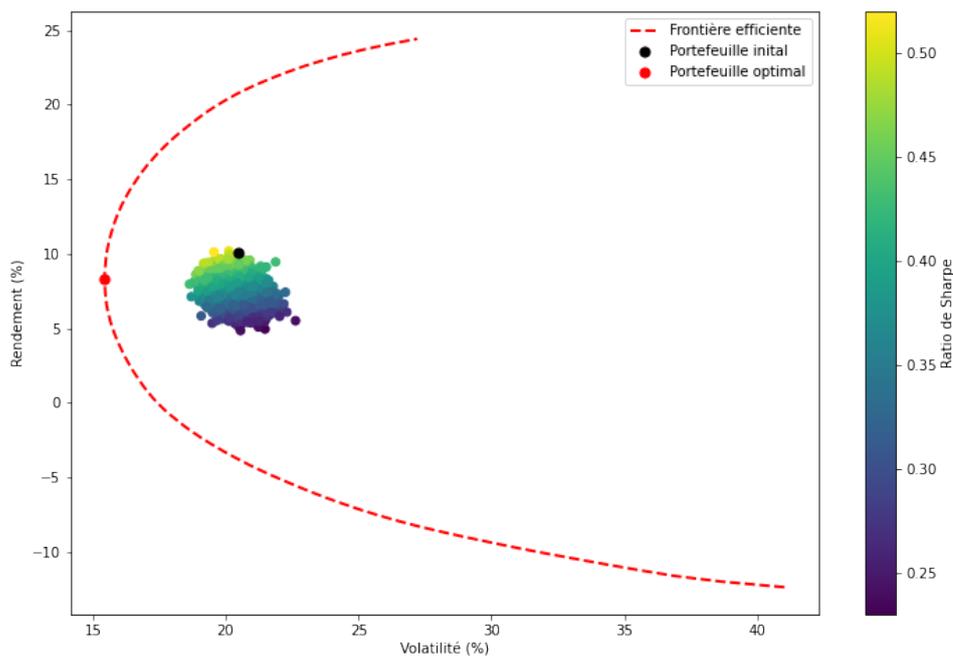


FIGURE 3.7 – Frontière efficiente de Markowitz

7. Le poids de chacun des actifs varie entre 0 et 1, la somme des poids étant égale à 1.

Du tracé de cette frontière efficiente, il est possible de déterminer l'allocation optimale du portefeuille permettant de minimiser la volatilité.

Ici la volatilité minimale du portefeuille est de  $\sigma = 15,45\%$  pour un rendement du portefeuille de  $R = 8,44\%$  et une note ESG du portefeuille de  $\overline{esg} = 20,617$ .

Le ratio de Sharpe simplifié du portefeuille (i.e. ne prenant pas en compte le taux sans risque :  $S_{simplifié} = \frac{R_P}{\sigma_P}$ ) est égal à 0,55. Comme vu en partie 3.1.1, cela signifie que le rendement est inférieur au risque pris par le portefeuille.

Bien que représentés à titre indicatifs, les 50 000 portefeuilles simulés (*cf* Figure 3.7) permettent de consulter le ratio de Sharpe mais également d'avancer quelques remarques - au vu du résultat des portefeuilles simulés par rapport à la frontière efficiente.

Le problème de dimensionnalité de l'optimisation de Markowitz est connu et documenté : le cadre original de la moyenne-variance est attrayant car il est très efficace d'un point de vue algorithmique. Cependant, il présente un défaut bien établi puisqu'il peut conduire à des portefeuilles qui ne sont pas optimaux d'un point de vue financier [18].

La raison principale réside dans le fait que la plupart des modèles académiques d'optimisation de portefeuille sont irréalisables en situation réelle, bien qu'ils présentent de solides propriétés théoriques.

En effet, ces portefeuilles optimaux suggèrent un investissement restreint – i.e. dans un petit nombre d'actifs – lorsque les gestionnaires doivent gérer un univers comportant des dizaines ou des centaines d'actifs. De fait, les portefeuilles optimaux selon Markowitz ne sont pas optimaux d'un point de vue financier, car ils ne respectent pas les simples contraintes de diversification imposées par le profil de risque des portefeuilles.

Cela se produit notamment lorsque les actifs extrêmes ont le rendement ou le risque le plus élevé/le plus faible au cours de la période d'évaluation, car l'optimisation de Markowitz recherche le portefeuille ayant le risque le plus faible pour un rendement attendu le plus élevé.

Un portefeuille bien diversifié, composé de différentes classes d'actifs ou de différents secteurs, tend à suivre la frontière efficiente. A l'inverse, un portefeuille concentré dans une classe d'actifs ou un secteur aura tendance à s'en éloigner. Les figures (*cf* Figure 3.8) ci-dessous illustrent cet effet.

Outre l'ajout de contraintes sectorielles, un moyen de résoudre ce problème de dimensionnalité consiste à adopter une fenêtre glissante (mensuelle/trimestrielle/semestrielle) au lieu de fixer une période de temps statique ; ce qui illustre la nécessité de rebalancer régulièrement le portefeuille.

Un autre moyen consiste à ajouter des contraintes de poids plus restrictives sur les actifs. Les deux images (*cf* Figure 3.9) ci-dessous montrent que plus les contraintes de poids sont faibles, plus les portefeuilles simulés se rapprochent de la frontière efficiente. Enfin, une dernière méthode consiste à utiliser des techniques de *Machine Learning* (*regularization, shrinkage*) au niveau des estimations de rendements ou des matrices de covariances afin d'apporter d'avantage de stabilité au calcul [19].

### 3.2. L'INTÉGRATION DES ENJEUX ESG DANS L'UTILITÉ DE L'INVESTISSEUR

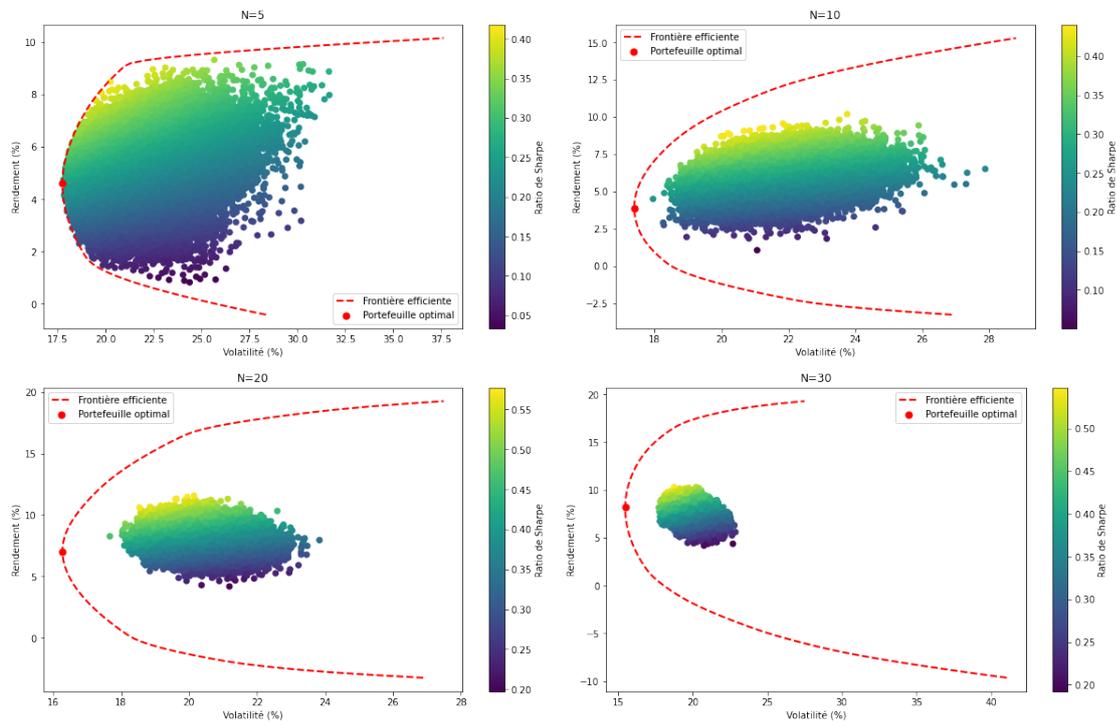


FIGURE 3.8 – Frontière efficiente de Markowitz pour un nombre d'actifs en portefeuille  $N = 5, 10, 20, 30$  et 50 000 portefeuilles simulés

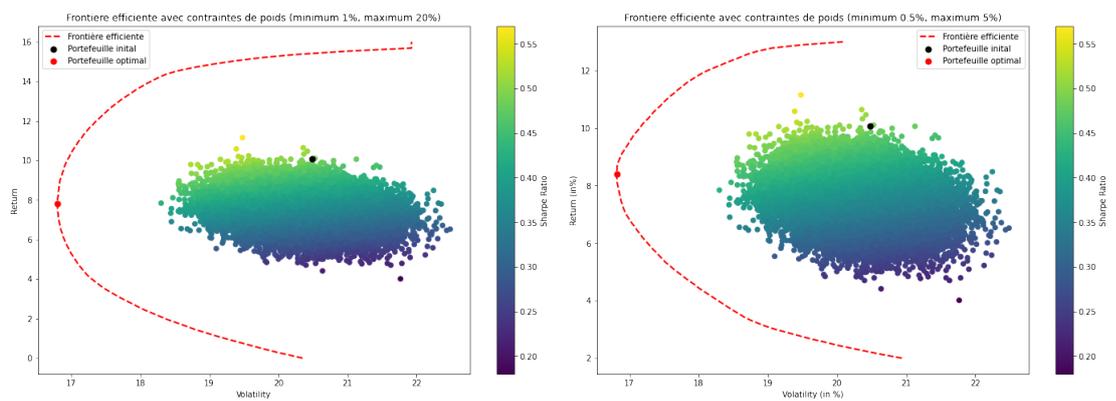


FIGURE 3.9 – Frontière efficiente de Markowitz avec contraintes de poids plus restrictives et 50 000 portefeuilles simulés

Pour chaque profil d'intérêt pour l'ESG  $i \in \{1, 10\}$ , est définie la fonction d'utilité :

$$U_i(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 + \lambda g_i(\overline{esg})$$

i.e.  $U_i(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 + \lambda \frac{1}{9}(i - 1)(N - \overline{esg})$

où  $N = 100$ , la note ESG maximale Sustainalytics et  $\lambda = \frac{1}{1075}$ .

Pour rappel,  $U_1(W) = U(W)$ , l'utilité de Markowitz car l'investisseur ayant un profil d'intérêt pour l'ESG égal à 1, n'accorde en fait aucune importance à l'ESG.

Dans le plan volatilité-rendement, les frontières efficaces intégrant les notations ESG pour les profils d'intérêt pour l'ESG  $i \in \{1, 10\}$  sont les suivantes :

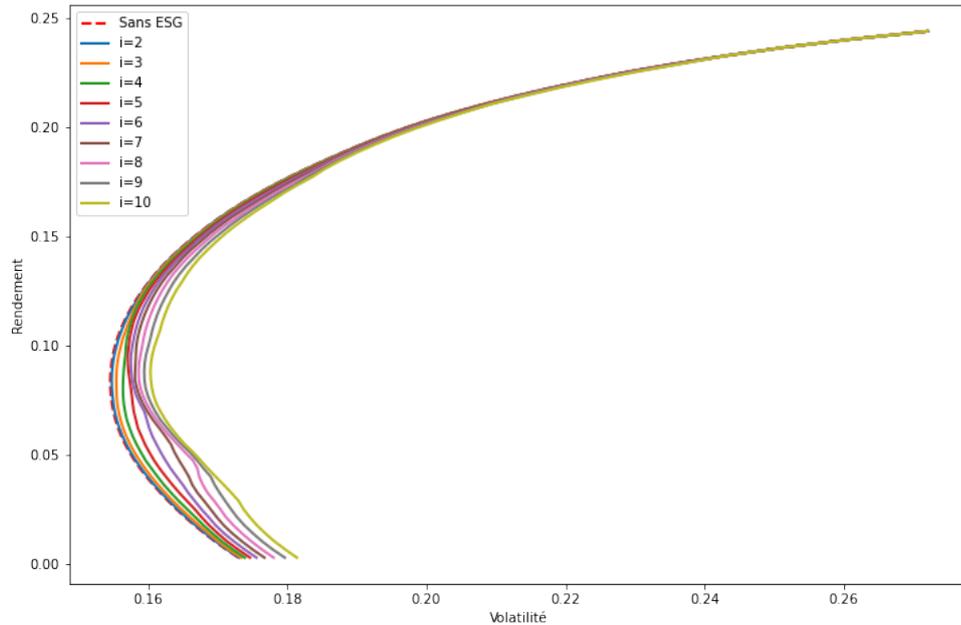


FIGURE 3.10 – Frontières efficaces intégrant les enjeux ESG pour un profil d'intérêt à l'ESG entre 1 et 10

Graphiquement, plus l'intérêt de l'investisseur pour les enjeux ESG est élevé, plus une translation vers la droite de la frontière efficace intégrant les enjeux ESG par rapport à la frontière efficace de Markowitz est observée (i.e. vers une volatilité plus forte). Ainsi,

### 3.2. L'INTÉGRATION DES ENJEUX ESG DANS L'UTILITÉ DE L'INVESTISSEUR

l'intégration des critères ESG au sein de la fonction d'utilité entraîne l'augmentation de la volatilité.

Une explication intuitive est l'ajout d'une contrainte dans le problème d'optimisation.

Pour chaque profil d'intérêt à l'ESG, l'allocation permettant de minimiser la volatilité de l'investisseur est recherchée.

	Rendement	Volatilité	ESG	Ratio de Sharpe	Ratio de Sortino
<b>Sans ESG</b>	0.084410	0.154493	20.616951	0.546366	0.685890
<b>i=2</b>	0.084410	0.154703	19.373201	0.545626	0.684702
<b>i=3</b>	0.084410	0.155362	18.051995	0.543310	0.681551
<b>i=4</b>	0.080696	0.156315	16.942577	0.516239	0.645247
<b>i=5</b>	0.095551	0.157017	16.542751	0.608537	0.762768
<b>i=6</b>	0.091837	0.157451	16.059645	0.583274	0.729184
<b>i=7</b>	0.084410	0.158048	15.535369	0.534076	0.662759
<b>i=8</b>	0.088123	0.158574	15.363507	0.555725	0.688597
<b>i=9</b>	0.088123	0.159370	15.036657	0.552949	0.683051
<b>i=10</b>	0.088123	0.160271	14.707699	0.549841	0.677185

TABLE 3.3 – Métriques du portefeuille à volatilité minimale pour un profil d'intérêt aux enjeux ESG entre 1 et 10

Quelques observations :

1. Plus le profil d'intérêt pour les enjeux ESG de l'investisseur se rapproche de 10, c'est-à-dire plus l'investisseur accorde de l'importance aux investissements ESG, plus la notation ESG du portefeuille s'améliore.  
Cependant, en conséquence de l'amélioration de la note ESG du portefeuille, la volatilité de celui-ci se dégrade.
2. De fait, plus l'investisseur porte de l'intérêt aux enjeux ESG (i.e. plus son profil approche 10), plus sa volatilité est élevée.
3. Si la notation ESG du portefeuille s'améliore et la volatilité de celui-ci se dégrade lorsque le profil d'intérêt aux enjeux ESG augmente, le rendement du portefeuille minimisant la volatilité varie dans une moindre mesure autour du rendement du portefeuille optimisé sans l'intrégration des enjeux ESG.
4. Il n'y a pas de relation d'ordre stricte observée entre le ratio de Sharpe et le profil d'intérêt aux enjeux ESG de l'investisseur, du fait de la remarque précédente.

Il en est de même pour le ratio de Sortino<sup>8</sup>.

Ici pour le profil d'intérêt aux enjeux ESG n°10, la note du portefeuille s'améliore de 5,91 points lorsque la volatilité augmente de 0,578%.

De la même façon, pour chaque profil d'intérêt aux enjeux ESG, l'allocation permettant de minimiser la notation ESG du portefeuille (car la meilleure note est la plus faible) est recherchée. Les résultats suivants sont obtenus :

	Rendement	Volatilité	ESG	Ratio de Sharpe	Ratio de Sortino
<b>Sans ESG</b>	0.132687	0.160926	19.569453	0.824523	1.078178
<b>i=2</b>	0.121546	0.158493	18.886056	0.766889	0.969533
<b>i=3</b>	0.106692	0.156701	17.997079	0.680862	0.857904
<b>i=4</b>	0.091837	0.156528	16.808805	0.586712	0.736705
<b>i=5</b>	0.080696	0.157436	15.958915	0.512565	0.638761
<b>i=6</b>	0.069555	0.159423	15.223192	0.436293	0.538967
<b>i=7</b>	0.058414	0.162409	14.579933	0.359674	0.439559
<b>i=8</b>	0.047273	0.166396	13.949526	0.284101	0.343171
<b>i=9</b>	0.047273	0.167003	13.689045	0.283068	0.340998
<b>i=10</b>	0.047273	0.167502	13.497840	0.282224	0.339251

TABLE 3.4 – Métriques du portefeuille à note ESG minimale pour un profil d'intérêt aux enjeux ESG entre 1 et 10

Ici, les observations 1 et 2 explicitées ci-dessus sont également illustrées. De plus, lorsque le profil d'intérêt aux enjeux ESG augmente :

- le rendement du portefeuille diminue ;
- de fait, au vu des évolutions du rendement et de la volatilité, le ratio de Sharpe ainsi que le ratio de Sortino du portefeuille diminuent.

Finalement, bien que les notes ESG soient optimales, le risque et en particulier le rendement des portefeuilles sont dégradés, entraînant des ratios de performance faibles lorsque le profil d'intérêt aux enjeux ESG augmente.

S'il est clair que à volatilité équivalente au portefeuille optimal initial, il n'existe pas de portefeuille optimal intégrant les enjeux ESG ; il est néanmoins possible de trouver des portefeuilles à rendement équivalent.

8. Le ratio de Sortino est calculé en considérant que le rendement minimal acceptable est égal à  $MAR = 0$ .

Une approche similaire est tenue, cette fois-ci avec un objectif de rendement équivalent à celui du portefeuille optimal initial.

	Rendement	Volatilité	ESG	Ratio de Sharpe
<b>Sans ESG</b>	0.08441	0.154493	20.616951	0.546366
<b>i=2</b>	0.08441	0.154703	19.373201	0.545626
<b>i=3</b>	0.08441	0.155362	18.051995	0.543310
<b>i=4</b>	0.08441	0.156346	16.852121	0.539890
<b>i=5</b>	0.08441	0.157276	16.018405	0.536699
<b>i=6</b>	0.08441	0.157626	15.774520	0.535506
<b>i=7</b>	0.08441	0.158048	15.535369	0.534076
<b>i=8</b>	0.08441	0.158613	15.268484	0.532175
<b>i=9</b>	0.08441	0.159409	14.941211	0.529517
<b>i=10</b>	0.08441	0.160323	14.608066	0.526498

TABLE 3.5 – Volatilité, note ESG et ratio de Sharpe pour un rendement équivalent au rendement du portefeuille optimal initial

Pour un profil d'intérêt à l'ESG de 10 - accordant le plus d'importance à l'intégration des enjeux ESG dans la construction de son portefeuille, le gérant verra la volatilité de son portefeuille augmenter de 0,58% lorsque sa notation ESG s'améliorera de 6 points ; et cela pour un rendement équivalent.

Si le profil d'intérêt aux enjeux ESG permet déjà de quantifier dans quelle mesure l'investisseur est prêt à améliorer sa note ESG au détriment de son risque, un juste milieu est tout de même à trouver.

La comparaison des portefeuilles aux profils les plus extrêmes (ici, pour  $i = 1$  et  $i = 10$ ) met en exergue cet arbitrage entre volatilité et notation ESG.

L'importance allouée à ces enjeux de risques financier et extra-financier étant propre à chaque investisseur, il reviendra à ce dernier d'estimer si ce compromis entre risque financier et risque extra-financier est nécessaire.

L'avantage des profils de risque tels que modélisés ici est la possibilité des distinguer plusieurs allocations avec différents niveaux de notation ESG, l'investisseur pouvant ainsi explorer plusieurs alternatives d'allocations et choisir celle qui correspond le mieux à sa stratégie.

### 3.3 Réduction de la dispersion des notes ESG du portefeuille

Dans cette section, l'importance à accorder au biais de dispersion des notes ESG du portefeuille autour de leur moyenne sera soulignée. Afin de modérer ce biais dans la stratégie d'investissement de l'assureur, celui-ci sera intégré dans l'utilité de l'investisseur.

### 3.3.1 Dispersion des notes ESG : un biais pour l'investisseur

Précédemment, la note ESG globale au niveau du portefeuille a été prise en compte dans l'intégration des enjeux ESG à la stratégie d'investissement. Cependant, en ayant uniquement recours à cette agrégation, l'investisseur perd une partie de l'information : la dispersion des notations ESG au dessus<sup>9</sup> de la note moyenne du portefeuille.

Sont définis 3 portefeuilles fictifs composés de 4 actifs équipondérés, équivalents en terme de rendement et de risque. Le vecteur  $v_i$  des notes ESG des 4 actifs du portefeuille  $i$ ,  $i \in \{1, 3\}$  est défini comme :

- Pour le 1<sup>er</sup> portefeuille, les notations sont proches des extrêmes :  
 $v_1 = (10, 15, 85, 90)$
- Pour le 2<sup>e</sup> portefeuille, les notations sont proches de la moyenne :  
 $v_2 = (42.5, 47.5, 52.5, 57.5)$
- Pour le 3<sup>e</sup> portefeuille, les notations sont réparties le long de l'échelle de notation :  
 $v_3 = (20, 40, 60, 80)$

Graphiquement, ces 3 portefeuilles peuvent être représentés comme :

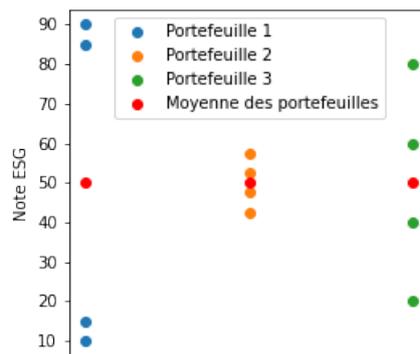


FIGURE 3.11 – Répartition des notes ESG selon le portefeuille

Si la note ESG globale des 3 portefeuilles est égale à 50, ces portefeuilles ne sont pour autant pas équivalents sur l'aspect ESG : leurs notations sont plus ou moins dispersées autour de la moyenne.

En effet, la dispersion des notations au dessus de la moyenne est un facteur différenciant dans le sens où la compensation des notes des différents actifs d'un portefeuille ne s'applique pas dans le cadre des notations ESG.

Dans le cadre de notations classiques comme les notations de risque de crédit, un investisseur rationnel est indifférent à la répartition des notes autour de sa moyenne. Cela est

9. Pour l'échelle de notation Sustainalytics

dû au fait que la notation moyenne du risque de crédit du portefeuille correspond à la moyenne des notations des actifs de celui-ci, car les différentes contributions au risque global de chacun des actifs se compensent pour obtenir le risque moyen du portefeuille.

Ce n'est pas le cas pour la notation ESG en raison du caractère extra-financier des critères influant sur la notation : les impacts attendus des actifs les moins bien notés (risques de réputation, environnementaux, réglementaires, politiques ou encore de poursuites judiciaires) ne peuvent être contrebalancés par les bienfaits des actifs les mieux notés.

Finalement, moins l'étendue des notes au dessus de la moyenne est importante, moins il y a de risque d'avoir de composantes avec une mauvaise note, induisant des impacts nocifs d'un point de vue ESG.

De fait, sur les 3 portefeuilles fictifs composés, le 2<sup>e</sup> portefeuille devrait être plus attractif pour l'investisseur – les notes ESG étant moins dispersées au-dessus de la moyenne – suivi du 3<sup>e</sup> portefeuille puis du 1<sup>er</sup>.

Afin considérer ce biais, plus la dispersion des notes des actifs qui composent le portefeuille au dessus de la moyenne de celui-ci est importante, moins le portefeuille sera favorisé d'un point de vue ESG, par l'investisseur.

Aussi, il convient d'adapter la fonction d'utilité définie dans la section précédente, afin d'y intégrer le biais de dispersion des notes ESG au sein du portefeuille.

### 3.3.2 L'impact de la dispersion des notes ESG d'un portefeuille sur la fonction d'utilité

Afin d'intégrer le risque de répartition des notes ESG du portefeuille à la fonction d'utilité, une mesure de dispersion est définie.

#### Mesure de dispersion

Le **coefficient de variation** est une mesure de dispersion relative, définie comme :

$$cv = \frac{\sigma}{\mu}$$

où  $\sigma$  est l'écart-type et  $\mu$  la moyenne.

Ce coefficient permet de juger de la dispersion d'une distribution autour de sa moyenne. Plus le coefficient de variation est élevé, plus la dispersion autour de la moyenne est grande.

De plus, il permet de comparer 2 séries de données d'unités différentes.

Dans notre cadre, le coefficient de variation s'exprime comme :

$$cv_{esg} = \frac{\sigma^+(esg)}{100 - \overline{esg}}, \forall \overline{esg} \in [0, 100[$$

où :

-  $esg = (esg_i)_{i \in \llbracket 1, n \rrbracket}$  le vecteur des notes ESG des  $n$  actifs composant le portefeuille ;

- $\overline{esg} \in [0, 100[$  la note ESG moyenne ;
- 100 la note ESG maximale ;
- $\sigma^+(esg)$  l'*upside-dispersion* i.e. l'écart-type des notes ESG à la hausse (supérieures à la note ESG moyenne) du portefeuille :

$$\sigma^+(esg) = \sqrt{\frac{1}{m_{\overline{esg}}} \sum_{i=1}^n \mathbb{1}_{esg_i > \overline{esg}} (esg_i - \overline{esg})^2}$$

avec  $m_{\overline{esg}} = \sum_{i=1}^n \mathbb{1}_{esg_i > \overline{esg}}$ .

En effet, souhaitant améliorer la notation globale du portefeuille et en même temps réduire la contribution des actifs les moins bien notés à la moyenne de celui-ci, il est de fait utilisé la dispersion des notations au-dessus de la moyenne des notes<sup>10</sup>.

De plus, la division par  $100 - \overline{esg}$  s'explique par le fait que le coefficient de variation doit être décroissant avec l'amélioration de la note ESG du portefeuille.

### Adaptation de la fonction d'utilité

La fonction d'utilité est ainsi adaptée pour prendre en compte le coefficient de variation. Comme vu précédemment, l'utilité est définie par :

$$U(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2} \sigma_W^2 + \gamma$$

où  $\gamma$  est indépendant de la richesse.

Ici, il est cherché optimiser le triptyque rendement / risque / ESG ainsi qu'à prendre en compte la dispersion des notes ESG dans la fonction d'utilité. En d'autres termes, l'allocation de portefeuille recherchée induit une note ESG moyenne la meilleure (i.e. la plus faible) et une minimisation de la dispersion des notations ESG les moins bonnes (à droite sur le spectre de notation). Aussi, il est considéré que :

$$\gamma = \lambda g_i(\overline{esg} + cv_{esg})$$

avec  $\lambda$  le coefficient de *green appetite*,  $g_i$  la fonction de *green appetite* selon le profil  $i$  d'intérêt aux enjeux ESG et  $cv_{esg}$  le coefficient de variation tels que définis précédemment. Le coefficient de variation est ajouté à la notation ESG globale du portefeuille car il vient dégrader la note, lorsque la dispersion augmente.

Ainsi la fonction de *green appetite* s'exprime comme :

$$\begin{aligned} - & g_1(\overline{esg} + cv_{esg}) = 0 \\ - & g_i(\overline{esg} + cv_{esg}) = \frac{1}{9}(i-1) \max(0, 100 - \overline{esg} - cv_{esg}), \forall i \in \llbracket 2, 10 \rrbracket, \forall \overline{esg} \in [0, 100[ \end{aligned}$$

10. Dans l'échelle de notes Sustainalytics.

Le coefficient de variation est comptabilisé dans la fonction de *green appetite* car son enjeu va de pair avec l'intérêt porté aux enjeux ESG par l'investisseur.

La dispersion des notes représentant un biais pour l'investisseur - comme évoqué en paragraphe 3.3.1, le coefficient de variation vient moduler l'incidence de la note ESG dans la fonction d'utilité. De fait, dans la fonction d'utilité, un portefeuille « plus dispersé » sera moins valorisé d'un point de vue ESG qu'un portefeuille « moins dispersé ».

La fonction d'utilité prenant en compte les enjeux ESG ainsi que la dispersion des notes ESG du portefeuille considéré s'écrit donc, pour chaque profil d'intérêt aux enjeux ESG :

$$U_i(W) = \mathbb{E}(W) - \frac{\alpha}{2}\sigma_W^2 + \lambda g_i(\overline{esg} + cv_{esg}), \forall i \in \llbracket 1, 10 \rrbracket$$

### 3.3.3 Application

Au regard du biais que représente la dispersion des notations ESG, l'investisseur souhaite optimiser son portefeuille selon le triptyque rendement/risque/ESG mais également minimiser la dispersion des notations ESG en utilisant la fonction d'utilité décrite précédemment.

Comme étudié en fin de la partie 3.2.2, dans cette sous-partie, il est supposé que l'investisseur souhaite conserver le rendement du portefeuille optimal (8,44%) mais souhaite minimiser sa volatilité et améliorer sa note ESG. De même, il souhaite réduire la dispersion des notes ESG du portefeuille. Sur le portefeuille décrit dans la partie 3.2.2, les résultats sont les suivants :

	Rendement	Volatilité	ESG	Upside dispersion	Coefficient de Variation
<b>Sans ESG</b>	0.08441	0.154493	20.616951	4.859346	0.061214
<b>i=2</b>	0.08441	0.154706	19.363425	5.195775	0.064434
<b>i=3</b>	0.08441	0.155375	18.031961	5.277037	0.064379
<b>i=4</b>	0.08441	0.156372	16.825656	5.540781	0.066616
<b>i=5</b>	0.08441	0.157285	16.011127	5.589430	0.066550
<b>i=6</b>	0.08441	0.157643	15.764403	5.589430	0.066355
<b>i=7</b>	0.08441	0.158074	15.522004	5.589430	0.066164
<b>i=8</b>	0.08441	0.158646	15.252848	5.654108	0.066717
<b>i=9</b>	0.08441	0.159463	14.920363	5.654108	0.066457
<b>i=10</b>	0.08441	0.160387	14.586237	5.733507	0.067126

TABLE 3.6 – Volatilité, note ESG et dispersion pour un rendement équivalent au rendement du portefeuille optimal initial

Une première remarque consiste à observer que les *upside-dispersion* augmentent selon le profil d'intérêt aux enjeux ESG. Cela est dû au fait que les notes ESG globales diminuent, entraînant *a fortiori* la dispersion des notes au-dessus de la moyenne à augmenter.

Néanmoins, en comparaison avec les résultats (*cf* 3.5) trouvés sans prendre en compte la dispersion des notations, il est mis en évidence que la note ESG de chaque portefeuille diminue plus (i.e. s'améliore) lorsque la dispersion est intégrée à la fonction d'utilité. Cependant, en contrepartie, l'augmentation de la volatilité est plus importante.

	Delta volatilité (en %)	Delta note ESG
<b>Sans ESG</b>	0.000000	0.000000
<b>i=2</b>	0.000315	-0.009776
<b>i=3</b>	0.001339	-0.020035
<b>i=4</b>	0.002593	-0.026465
<b>i=5</b>	0.000930	-0.007278
<b>i=6</b>	0.001653	-0.010117
<b>i=7</b>	0.002611	-0.013365
<b>i=8</b>	0.003364	-0.015636
<b>i=9</b>	0.005423	-0.020848
<b>i=10</b>	0.006351	-0.021829

TABLE 3.7 – Différence entre les métriques des portefeuille optimisés en intégrant la dispersion dans la fonction d'utilité et sans prendre en compte ce biais.

Ainsi, l'intégration de la dispersion des notes ESG dans la fonction d'utilité de l'investisseur permet de réduire la note ESG moyenne du portefeuille, ainsi que la dispersion des notations, mais cela au détriment de la volatilité, qui se voit augmenter. Ici encore, un arbitrage doit être effectué par l'investisseur entre le risque financier et extra-financier.

Aussi, dans ce contexte, l'intégration de la notion de dispersion augmente le coût de cet arbitrage (i.e. plus coûteux en volatilité), mais nécessite de garder en tête que la dispersion des notations ESG des actifs composant le portefeuille représente un biais. Comme mentionné en fin de partie 3.2.2, la liberté sera à l'investisseur d'opter pour la stratégie qui correspond le plus à ces attentes et objectifs.

## Conclusion du chapitre 3

Peu à peu, poussés par la réglementation ou leurs convictions, les investisseurs intègrent les enjeux ESG dans leurs stratégies d'investissements. Néanmoins, tous les acteurs ne leur accordent pas la même importance et certains ne les considèrent pas encore au même titre que le rendement et le risque.

Ainsi, l'approche introduite dans ce chapitre permet à chacun d'intégrer graduellement les enjeux ESG dans les stratégies d'investissements, selon l'importance qu'ils souhaitent leur accorder, basé sur une échelle variant de 1 à 10.

Pour ce faire, la fonction d'utilité de Markowitz a été adaptée, en y intégrant la notation ESG à travers une fonction de *green appetite*, qui traduit l'impact du risque extra-financier dans la fonction d'utilité de l'investisseur, en fonction de l'intérêt que celui-ci porte aux enjeux ESG.

L'étude menée révèle que l'intégration des enjeux ESG dans les portefeuilles entraîne une augmentation du risque financier. Il a aussi été montré que pour une note de risque ESG optimale (i.e. minimale), le rendement du portefeuille est dégradé.

Ces points sont appuyés par la littérature, comme évoqué en partie 1.5 (théoriquement, la performance ajustée au risque devrait être plus faible en optimisant un portefeuille à l'aide d'un univers contraint, comparativement à un univers non contraint) mais également par d'autres travaux :

- Les recherches de Utz et al. [20] et de Garcia-Bernabeu et al. [21] indiquent que pour un niveau de rendement constant, un portefeuille intégrant les enjeux ESG est plus risqué ;
- McGrath [22] explique dans son papier datant de 2019 que cela est en partie provoqué par l'augmentation du risque de concentration lorsque des classes d'actifs sont exclues d'un portefeuille ;
- Enfin, les travaux de Pedersen, Fitzgibbons et Pomorski [23] en 2021, concluent qu'intégrer les enjeux ESG implique une réduction du Ratio de Sharpe du portefeuille.

Finalement, à rendement équivalent, l'étude montre que pour un investisseur, un arbitrage doit être effectué entre :

- Avoir un portefeuille à meilleure volatilité au détriment de la note ESG ;
- Avoir un portefeuille à meilleure note ESG au détriment de la volatilité.

Ce compromis entre risque financier et extra-financier est facilité par l'échelonnage des allocations optimales en fonction du profil d'intérêt aux enjeux ESG de l'investisseur, lui permettant notamment de juger de sa capacité à intégrer l'ESG dans sa stratégie.

Un second arbitrage à effectuer par l'investisseur concerne l'importance accordée au fait que la notation moyenne du portefeuille soit biaisée, car elle ne reflète pas les contributions individuelles des actifs les moins bien notés.

L'intégration d'un coefficient de variation basé sur l'*upside-dispersion* des notations dans l'utilité de l'investisseur entraîne une amélioration plus prononcée de la note ESG du portefeuille, en contrepartie d'une volatilité dégradée plus significativement ; rapportant l'investisseur au premier arbitrage.

De plus, si le coefficient de variation n'influe que modérément sur l'utilité, il serait possible de moduler l'ampleur à lui accorder, en ajoutant un facteur multiplicatif à celui-ci (i.e. considérer dans la fonction d'utilité initiale que  $\gamma = g_i(\overline{esg} + \beta \times cv_{esg})$ ,  $\beta > 0$ ).

Si ce chapitre s'est attelé à intégrer les enjeux ESG à l'actif de l'assureur à travers son portefeuille actions, le Chapitre 4 s'intéressera à mettre en regard cette approche avec d'éventuelles contraintes associées au passif ; au travers d'une proposition d'intégration des enjeux ESG dans le choc action du Pilier 1 de Solvabilité 2.

## Chapitre 4

# Intégration de l'ESG dans le choc actions

Dans un contexte réglementaire en pleine mouvance, les assureurs sont poussés à intégrer les enjeux ESG au sein de leur gestion.

Comme évoqué dans le chapitre 2.3, la norme solvabilité 2 intègre peu à peu le risque de durabilité ; en ayant déjà effectué des modifications du règlement délégué concernant le Pilier 2.

Dans l'optique d'intégrer ces enjeux dans le Pilier 1, la Commission Européenne a mandaté l'EIOPA concernant d'éventuelles modifications de la formule standard Solvabilité 2 pour prendre en compte le risque de durabilité. Entre autres, il est question de déterminer si le choc action pourrait être modulé selon la notation ESG des titres.

Il est ainsi question de quantifier quel impact aurait la notation ESG du portefeuille actions d'un assureur sur son SCR. Ce chapitre sera dédié à la réponse à cette question, en menant une étude sur la potentielle modification des chocs sur le sous-module action.

*NB : ces travaux présentent une proposition - précédant la publication de l'EIOPA sur le sujet prévue pour 28 juin 2023.*

Comme vu en partie 2.3.3, il est considéré que les actifs « verts » seront moins choqués et/ou que les actifs « bruns » seront plus choqués de les actifs classiques.

Ce chapitre sera consacré à analyser si conjecture est justifiée, et dans ce cas, à déterminer dans quelle mesure le choc actions pourra être ajusté en fonction de la note ESG des actifs composant le portefeuille actions.

## 4.1 Zoom sur le sous-module « risque sur actions »

Le risque actions représente le risque d'évolution défavorable des marchés actions et de la volatilité de la valeur de marché de ces derniers. En d'autres termes, il s'agit du risque de baisse de valeur des investissements en actions.

Les modalités du calcul du SCR pour le sous-module « Risque sur actions » sont détaillées dans les articles 168, 168 bis, 169, 170, 171, 171 bis, 172 et 173 du Règlement délégué 2015/35.

### 4.1.1 La formule standard

Le sous-module « risques sur actions » fait partie du module **marché** de la formule standard du calcul du SCR (cf 2.2.1).

Le risque actions concerne les éléments au bilan dont la valeur de marché est sensible à l'évolution des cours d'actions. Entre autres :

- à l'actif : les actions et dérivés sur actions (options...), Private Equity, Hedge Funds, matières premières, autres investissements alternatifs, participations, tout actif non couvert par les autres modules (notamment fonds non transparisés).
- au passif : les engagements d'assurance dont les flux dépendent de l'évolution du prix des actions, les engagements sociaux liés à l'évolution du prix des actions, la valeur de la participation aux bénéfices.

Conformément à l'article 168 des actes délégués, les actions sont divisées en deux types :

- Les **actions de type 1** : les actions listées sur des marchés des pays membres de l'EEA<sup>1</sup> ou de l'OCDE<sup>2</sup> ;
- Les **actions de type 2** : les actions listées sur des marchés des pays non membres de l'EEA ou de l'OCDE, les actions non cotées, les produits de base et les autres investissements alternatifs.

Le SCR actions de la formule standard se calcule comme :

$$SCR_{actions,type i} = \max(\Delta NAV|choc_{type i}, 0)$$

Avec :

$\Delta NAV$  la différence de Net Asset Value (avant et après l'application du choc).

Le choc action appliqué dépend du type d'actions :

	Type 1	Type 2
Choc	39%	49%

1. *European Economic Area*

2. Organisation de coopération et de développement économiques

A ces chocs est ajouté l'*ajustement symétrique* : un facteur de correction contra-cyclique. Son calcul est basé sur un indice action, déterminé par l'EIOPA, tel que :

$$Ajustement\ symétrique = 0,5\left(\frac{CI-AI}{AI} - 8\%\right)$$

où :

- $CI$  représente le niveau courant de l'indice du cours des actions ;
- $AI$  représente la moyenne pondérée des niveaux quotidiens de l'indice du cours des actions au cours des 36 derniers mois.

Ainsi, ce facteur vient moduler le choc actions en le diminuant à la suite d'une phase de baisse des marchés et au contraire, en l'augmentant à la suite d'une phase de hausse des marchés.

Initialement compris entre  $-10\%$  et  $10\%$ , la révision 2020 de la Solvabilité 2 propose d'élargir son intervalle, bornant l'ajustement symétrique entre  $-17\%$  et  $17\%$ .

La formule de l'ajustement symétrique revient donc à :

$$Ajustement\ symétrique = Max(Min(0,5\left(\frac{CI-AI}{AI} - 8\%\right), borne), -borne)$$

Finalement, l'**exigence de capital pour le risque sur actions** est égale à :

$$SCR_{actions} = \sqrt{\sum_{i,j \in \{1,2\}} C_{i,j} \times SCR_{type\ i} \times SCR_{type\ j}}$$

avec :

$SCR_{type\ i}$  l'exigence de capital pour les actions de type  $i$ .

La matrice de corrélation, définie par l'EIOPA, est la suivante :

$C_{i,j}$	Type 1	Type 2
Type 1	1	0,75
Type 2	0,75	1

### 4.1.2 La méthodologie EIOPA

La méthodologie EIOPA est définie dans le Calibration Paper du QIS5<sup>3</sup>, publié par le CEIOPS<sup>4</sup>.

Publié en avril 2010, il constitue un document central dans la mise en place des exigences quantitatives relatives à la norme Solvabilité II. En effet, ce papier détaille les méthodes et calculs qui ont permis de calibrer la réglementation Solvabilité 2 actuelle.

Afin de calibrer le choc « risque sur actions », l'EIOPA a utilisé l'indice MSCI World Developed Price Equity Index. Cet indice, constitué d'actions listées de 23 pays développés d'Amérique, d'Europe et d'Asie, a été analysé sur une période de 36 ans ; de 1973 (création de l'indice) à 2009.

Une étude sur l'indice a permis de constater que les rendements suivent approximativement une loi normale à queue épaisse (ceci est vrai uniquement pour des observations de rendements sur de longues périodes, mensuels ou annuels).

En effet, à gauche sont représentés<sup>5</sup> les rendements annuels observés sur l'indice MSCI World et à droite sont représentés la distribution réelle de l'indice (en vert) ainsi que la distribution normale (en rouge). Sous l'hypothèse de normalité, la loi des rendements du MSCI World est leptokurtique.

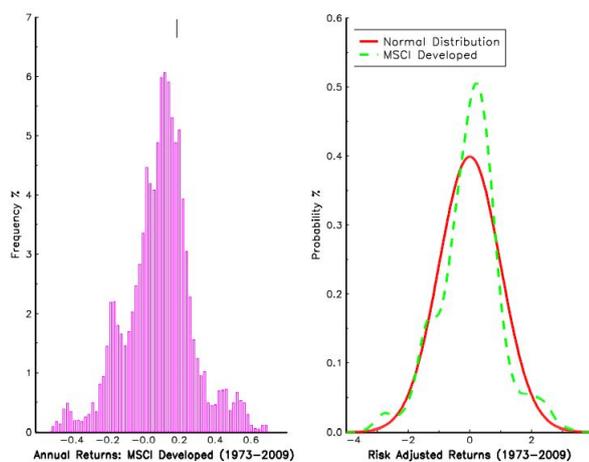


FIGURE 4.1 – Distribution des rendements annuels du MSCI World

En supplément, des indicateurs statistiques ont été calculés sur les rendements annuels des indices MSCI :

3. Quantitative Impact Study n°5
4. Committee of European Insurance and Occupational Pension Supervisors
5. *Source : Calibration Paper*

Percentiles	MSCI World	MSCI Americas	MSCI Europe	MSCI Pacific
100.00%	65.58%	50.44%	62.53%	143.86%
99.95%	63.92%	49.98%	59.76%	141.44%
99.50%	56.96%	44.15%	50.39%	129.38%
99.00%	52.44%	40.06%	45.77%	124.77%
97.50%	46.65%	36.73%	37.61%	114.35%
50.00%	9.47%	10.10%	11.45%	3.81%
2.50%	-32.93%	-35.88%	-46.06%	-33.78%
1.00%	-42.05%	-40.25%	-50.92%	-37.59%
<b>0.50%</b>	<b>-44.25%</b>	<b>-42.42%</b>	<b>-52.89%</b>	<b>-38.85%</b>
0.05%	-50.93%	-49.29%	-57.69%	-41.93%
0.00%	-51.94%	-49.93%	-57.95%	-44.03%
Mean	7.43%	8.03%	7.08%	12.03%
St. Deviation	18.16%	17.75%	19.48%	36.21%
Kurtosis	72.01%	22.02%	81.29%	122.08%
Skewness	-17.95%	-66.91%	-81.91%	116.44%
<b>Normal VAR</b>	<b>39.34%</b>	<b>37.69%</b>	<b>43.09%</b>	<b>81.24%</b>
<b>Empirical VAR</b>	<b>44.25%</b>	<b>42.42%</b>	<b>52.89%</b>	<b>38.85%</b>

TABLE 4.1 – Indicateurs statistiques des indices MSCI

Ici, les calculs permettent de mettre en évidence la non normalité des rendements annuels. En effet, la VaR historique au seuil de confiance 99,5% de 44,25% est bien supérieure à la VaR normale (i.e. calculée sous l'hypothèses de normalité des rendements), de 39,34%. L'hypothèse de normalité des rendements implique donc une imprudence.

D'autres études sur le MSCI World ont permis au CEIOPS de calibrer le niveau du choc sur les actions de type 1 : le calcul des dix pires rendements journaliers, le calcul des dix pires rendements annuels ou encore le calcul des VaR de la distribution GEV (*Generalised Extreme Value*) sur la période étudiée.

Ces résultats, entre autres, ont permis à l'EIOPA de calibrer le choc pour les actions de type 1. En effet, le SCR représente le besoin en fonds propres nécessaire pour avoir 0.5% de probabilité de ne pas pouvoir respecter ses engagements à horizon un an, ce qui correspond à une fois tous les 200 ans. Le SCR correspond ainsi à une VaR à 1 an à 99,5%.

Finalement, grâce à ces résultats, l'EIOPA a calibré le choc pour les actions de type 1 à 39%.

## 4.2 Détermination du choc action ajusté à la note ESG

Afin de déterminer si, et dans quelle mesure, le choc actions pourra être modulé en fonction de la note ESG du portefeuille action, une étude sur des actifs représentatifs des notes ESG et de l'économie européenne sera effectuée.

La stratégie suivante est mise en place :

1. Calcul de mesure de risque sur chacun des actifs ;
2. Regroupement des actifs selon des catégories de notes ESG à date de l'étude ;
3. Calcul - pour chaque catégorie de notes ESG - de la moyenne de la mesure de

risque des actifs composant cette catégorie.

Cela permettra de mettre ou non en évidence une meilleure résistance des actifs de meilleure note ESG que les autres.

De ces résultats, pourront être déterminés des chocs actions ajustés pour chaque catégorie de risque ESG.

*NB : Pour cette étude, la détermination du choc actions ajusté à la notation ESG ne sera effectuée que sur les **actions de type 1** - les actions de type 2 ne disposant pas toujours ni de notation ESG, ni de valeur de marché fiable ou régulière.*

#### 4.2.1 Les données

Afin de déterminer le choc actions ajusté à la notation ESG en suivant la stratégie mise en place, un échantillon d'actifs représentatif de l'économie européenne mais également des notes ESG<sup>6</sup> sera utilisé.

Pour cela, les composants de l'indice Stoxx Europe 600 au 31 octobre 2022 ont été choisis, sur l'historique du 31 octobre 2012 au 31 octobre 2022. L'indice élaboré par STOXX est composé de 600 principales capitalisations de 17 pays d'Europe. Sa répartition géographique est la suivante :

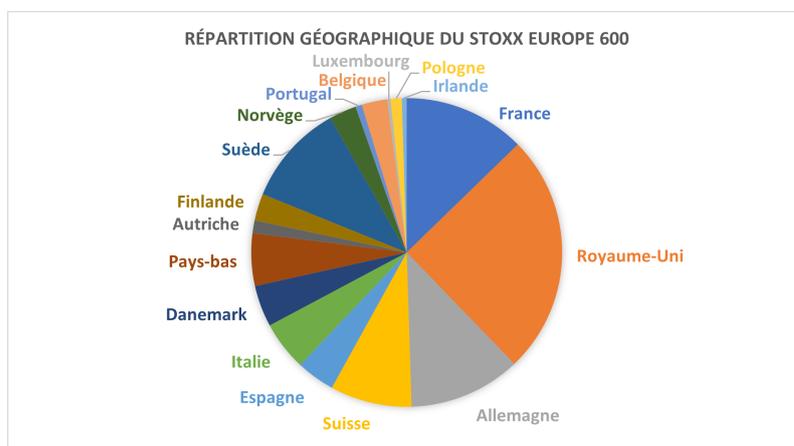


FIGURE 4.2 – Répartition géographique du Stoxx Europe 600 au 31 octobre 2022

Pour chaque composantes de l'indice, le cours ainsi que la note ESG à date de l'étude ont été récupérés via le package Python *Pandas DataReader* utilisant la source de données *Yahoo Finance*.

La répartition des notes ESG du Stoxx Europe 600 est la suivante :

6. Dans ce chapitre, la note ESG Sustainalytics sera également utilisé.

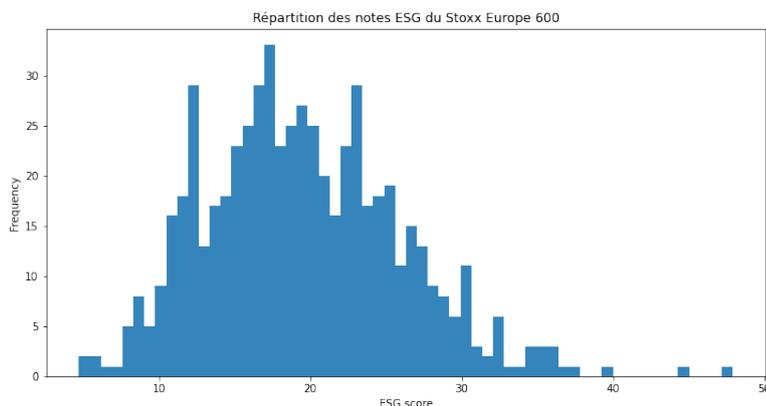


FIGURE 4.3 – Répartition des notes ESG au 31 octobre 2022

Bien que les composantes du Stoxx Europe 600 couvrent une grande partie du spectre des notations ESG Sustainalytics ; les notes ESG sont majoritairement compris entre 10 et 30. En effet, 90% des notes ESG sont compris dans cet intervalle, 4% entre 0 et 10, un peu plus de 5% entre 30 et 40 et moins de 1% supérieur à 40.

### 4.2.2 Les mesures de risque

Afin de déterminer dans quelle mesure le risque ESG a un impact sur les actifs, plusieurs mesures de risque seront calculées.

L'optique de la mesure de risque est de transformer un risque en valeur. Aussi, une mesure de risque  $\rho$  est une application associant à un risque (variable aléatoire)  $X$  un réel permettant de mesurer sa dangerosité.

Pour rappel, une mesure de risque cohérente<sup>7</sup>  $\rho$  vérifie :

- Invariance par translation :  $\rho(X + c) = c + \rho(X)$
- Sous-additivité :  $\rho(X + Y) \leq \rho(X) + \rho(Y)$
- Homogénéité :  $\rho(a.X) = a.\rho(X)$
- Monotonie :  $\rho(X \leq Y) = 1 \Rightarrow \rho(X) \leq \rho(Y)$

Les principales mesures de risque sont présentées ci-après.

#### *Value at Risk*

La *Value at Risk*, notée  $VaR$ , représente la pire perte attendue sur un portefeuille pour un certain horizon  $\tau$  et pour un certain niveau de confiance  $\alpha$  :

$$VaR(X, \alpha) = \inf\{x \in \mathbb{R} : P(X \leq x) \geq \alpha\}$$

7. La notion de mesure de risque cohérente a été introduite en 1999 par P. Artzner, F. Delbaen, J-M Eber et D. Heath.

avec  $P$  la distribution de pertes et profits des rendements.

Ainsi, le calcul de la  $VaR$  repose sur 3 éléments :

- L'horizon de détention de l'actif ou du portefeuille ;
- Le niveau de confiance ;
- La distribution des pertes et profits.

A noter que la  $VaR$  n'est pas une mesure de risque cohérente car elle n'est pas sous-additive. La conséquence directe de la non sous-additivité de la  $VaR$  est qu'on ne diminue pas toujours la  $VaR$  d'un portefeuille en le diversifiant - ce qui va à l'encontre de la réalité financière.

Pour calculer la  $VaR$ , les méthodes de  $VaR$  historique et de  $VaR$  paramétrique seront décrites.

### **$VaR$ historique**

Cette méthode se base sur les observations de l'historique des rendements du portefeuille ou de l'actif détenu. Il est ensuite possible d'ordonner par ordre croissant les rendements et ainsi de déduire la  $VaR$  en calculant le quantile correspondant au niveau de confiance de la distribution empirique de données.

A noter qu'il est supposé, dans cette approche, que les distributions des rendements sont invariantes et peuvent être simulées par les rendements passés.

Par exemple, sur un historique de 10 ans, pour les seuils de confiance 90, 95 et 99%, les  $VaR$  historiques à 1 jour de l'action Carrefour sont les suivantes :

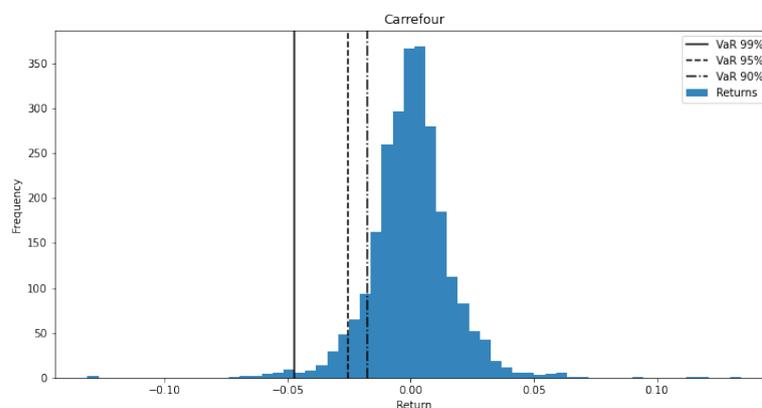


FIGURE 4.4 – *Value at Risk* à 1 jour de l'action Carrefour

Ici, la  $VaR$  au niveau 99% est égale à  $-4,74\%$ . Cela signifie qu'il y a 99% de chances que la perte associée à la détention de l'action Carrefour n'excède pas  $-4,74\%$ . Autrement dit, une perte de  $-4,74\%$  sera atteinte ou dépassée dans seulement 1% des cas.

### **VaR paramétrique**

La méthode paramétrique consiste à établir un modèle statistique dont les paramètres du modèle seront déterminés à partir des données historiques.

La plus classique des méthodes paramétriques estime la distribution des rendements du portefeuille selon une loi normale  $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$  dépendant de la moyenne  $\mu$  et de la variance  $\sigma^2$ .

La VaR paramétrique au niveau de confiance  $\alpha$  d'une distribution normale s'exprime alors :

$$VaR(X, \alpha) = \mu + \sigma \times k_{1-\alpha}$$

avec  $k_{1-\alpha}$  le quantile de la loi normale associé au niveau de probabilité  $\alpha$ .

Sur le même historique que précédemment, la VaR paramétrique à 1 jour au niveau de confiance 99% de l'action Carrefour est :

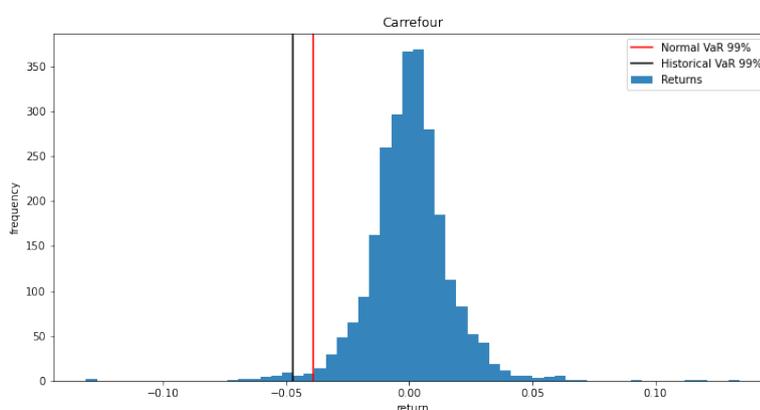


FIGURE 4.5 – *Value at Risk* paramétrique à 1 jour de l'action Carrefour

Ici, la VaR paramétrique ( $-3,89\%$ ) sous-évalue largement la VaR historique ( $-4,74\%$ ). En effet, un test de Shapiro-Wilk permet d'affirmer que la distribution des rendements journaliers de l'action Carrefour n'est pas normale (pvalue =  $1,86e - 32$  inférieure à  $0,05$ ).

En fait, sur l'historique étudié et sur les rendements journaliers ou annuels, le test de Shapiro-Wilk permet de dire qu'aucune composante considérée du Stoxx Europe 600 n'admet une distribution normale.

### **Conditionnal Value-at-Risk**

La Conditionnal Value-at-Risk est la moyenne de pertes qui excèdent la VaR.

Mathématiquement c'est :

$$CVaR(X, \alpha) = E[X - VaR(X, \alpha) | X > VaR(X, \alpha)]$$

Sur un historique de 10 ans, pour les seuils de confiance 90, 95 et 99%, les CVaR historiques à 1 jour de l'action Carrefour sont les suivantes :

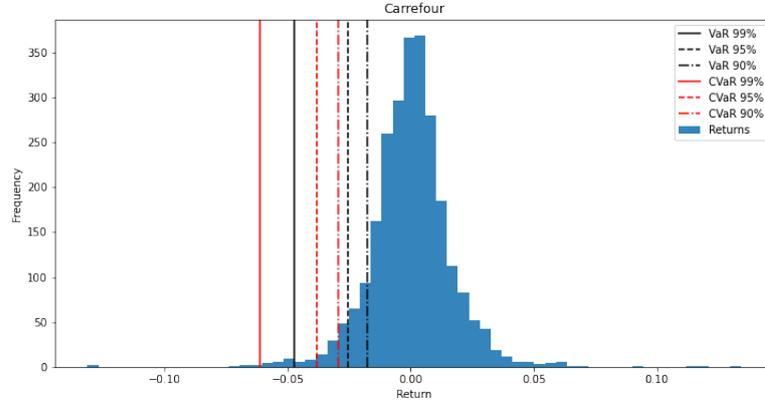


FIGURE 4.6 – *Conditionnal Value at Risk* à 1 jour de l'action Carrefour

Ici, et par construction, la CVaR est supérieure à la VaR, et ce pour tous les seuils de confiance testé. Ainsi, l'utilisation de la CVaR est plus pénalisante que l'utilisation de la VaR.

### ***Tail-Value-at-Risk***

La Tail-Value at Risk de niveau  $\alpha$  correspond à la perte moyenne conditionnellement au fait que la VaR de niveau  $\alpha$  soit dépassée :

$$TVaR(X, \alpha) = \frac{1}{1-\alpha} \int_{\alpha}^1 VaR(X, u) du = \frac{1}{1-\alpha} E[X \cdot \mathbb{1}_{X > VaR(X, \alpha)}]$$

Si la VaR ne prend en compte qu'un seul point de la distribution et ne donne aucune information sur les pertes une fois ce seuil dépassé, ce n'est pas le cas de la TVaR.

Ainsi :  $TVaR(X, \alpha) \geq VaR(X, \alpha)$ .

De plus, si la TVaR est une mesure de risque cohérente, elle nécessite cependant la connaissance de la forme de la queue de distribution. Ainsi, cette mesure de risque ne sera pas mise en application, du fait de sa complexité.

Ci-dessous, une métrique alternative, qui permet de mesurer le risque d'un portefeuille ou d'un actif financier.

### ***Max Drawdown***

Le *Max Drawdown* est la perte successive maximale observée sur une période donnée. En d'autres termes, c'est le plus grand mouvement entre un point haut et un point bas, avant qu'un nouveau pic ne soit atteint. Mathématiquement, c'est le maximum de :

$$\frac{\text{Valeur maximale} - \text{Valeur minimale}}{\text{Valeur maximale}}$$

sur une période successive.

Par exemple, si un portefeuille atteint 10 000€ au maximum avant de baisser jusqu'à 7 000€ au point le plus bas sur une période successive (c'est à dire que le cours remonte après avoir été égal à 7 000€), alors son *Drawdown* est de :

$$\frac{10\,000 - 7\,000}{10\,000} = 30\%$$

Sur un historique de 10 ans, le drawdown de l'action Carrefour est le suivant :

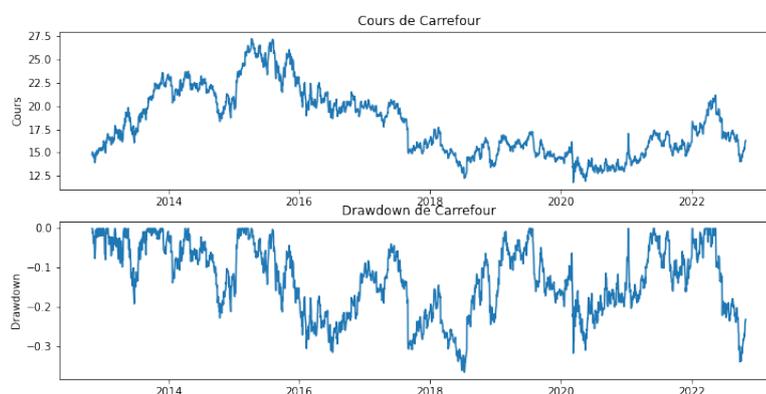


FIGURE 4.7 – Max Drawdown de l'action Carrefour sur un historique de 10 ans

L'action Carrefour admet donc un Max Drawdown de 36,4%, c'est à dire que l'investisseur de l'action Carrefour a connu une variation maximale en perte de 36,4% entre le point le plus haut et le point le plus bas ; sur une période successive.

### 4.2.3 Regroupement d'actifs en catégories de notes ESG

Comme vu en partie 2.3.3, une distinction est effectuée entre les actifs « verts » et les actifs « bruns » - étant considéré que les actifs « verts » seront moins choqués et/ou les actifs bruns plus choqués.

Néanmoins, afin de montrer si cette conjecture est justifiée, il est nécessaire de définir la notion de « vert »/« brun », i.e. de « bonne » ou « mauvaise » note ESG.

Avec la note ESG Sustainalytics, il est clair que la pire note est 100 et la meilleure note est 0. Mais *quid* des notes comprises dans l'intervalle ]0, 100[ ?

Sustainalytics propose une catégorisation des notes ESG : entre 0 et 10, 10 et 20, 20 et

30, 30 et 40 et supérieure à 40 (*cf* 1.3.1).

En appliquant ces catégories aux actifs du Stoxx Europe 600, la répartition est la suivante :

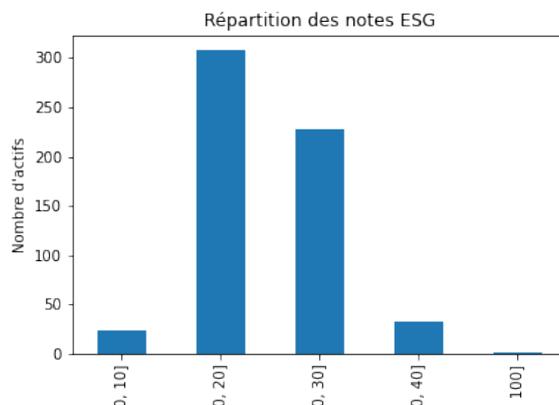


FIGURE 4.8 – Répartition des notations ESG du Stoxx Europe 600 selon les catégories Sustainalytics

Les répartitions des notes ESG des composantes du Stoxx Europe 600 (Sustainalytics et globale, vue à la figure 4.3) mettent en évidence le manque de distinction des notes entre 10 et 30.

Cette catégorisation n'étant pas satisfaisante, comment est-il alors possible de réaliser une catégorisation (en groupes de données) plus précise ?

Les groupes de données déterminés doivent être :

- exhaustifs - qui couvrent toutes les données ;
- mutuellement exclusifs - pour éviter tout chevauchement ;
- homogènes intra-groupe - afin que les groupes aient des caractéristiques similaires ;
- hétérogènes extra-groupe - afin que les différents groupes soient bien différenciés.

Pour ce faire, des méthodes de regroupement de données seront utilisées ; dans un premier temps sur la note ESG (regroupement en 1 dimension), puis dans un second temps sur les notes E, S & G (regroupement en 3 dimensions).

### Regroupement des données selon la note ESG

La méthode d'optimisation de Jenks (ou méthode de classification de ruptures naturelles de Jenks) permet de déterminer des classes très proches de la distribution de la variable, en créant des classes contenant des valeurs homogènes, mais également des classes hétérogènes entre elles.

Mise au point dans les années 60 par le cartographe G.F Jenks, cette méthode établit

des classes en réduisant la variance intraclasse et en maximisant la différence entre les moyennes des classes ; ceci en faisant varier itérativement les bornes des classes.

L'algorithme requérant en entrée le nombre de classes souhaitées, il est nécessaire de déterminer, au préalable, le nombre idéal de classe pour la base de données considérée.

Afin de trouver le nombre optimal de classes, plusieurs indicateurs sont étudiés :

— **L'indice de Calinski-Harabasz.**

Mathématiquement, c'est le rapport entre la variance inter-groupes et la variance intra-groupe.

Noté  $I_{SH}$ , l'indice de Calinski-Harabasz est défini tel que :

$$I_{SH} = \frac{(N-K)A}{(K-1)B}$$

avec :

- $K$  le nombre de groupes ;
- $N$  le nombre d'individus composant le groupe ;
- $A$  la variance inter-groupe ;
- $B$  la somme des variances intra-groupe.

Cet indice est à **maximiser**.

— **L'indice de Davies-Bouldin.**

C'est la moyenne du rapport maximal entre la distance d'un point au centre de son groupe et la distance entre deux centres de groupes.

Noté  $I_{DB}$ , il est défini par :

$$I_{DB} = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^K \max_{i \neq j} \left( \frac{s_i + s_j}{d_{ij}} \right)$$

avec :

- $K$  le nombre de groupes ;
- $s_i$  (*resp.*  $s_j$ ) la moyenne des distances entre les points et le centre du cluster  $i$  (*resp.*  $j$ ) ;
- $d_{ij}$  la distance entre les centres des cluster  $i$  et  $j$ .

Cet indice est à **minimiser**.

— **Le score Silhouette.**

Il est défini par :

$$\text{Silhouette score} = \frac{b-a}{\max(a,b)}$$

avec :

- $a$  la mesure de la proximité des points au sein d'un groupe. Autrement dit c'est la distance moyenne entre un échantillon et tous les autres points du même groupe.
- $b$  la mesure de la distance entre les points des différents groupes. Autrement dit, c'est la distance moyenne entre un échantillon et les points du groupe le plus

proche.

Ce score varie entre  $-1$  et  $+1$ ,  $+1$  étant le meilleur score. Autrement dit, le score Silhouette est à **maximiser**.

Afin de déterminer le nombre de classes optimal pour répartir les données ESG des composantes du Stoxx Europe 600, plusieurs nombres de classe sont testés.

Pour un nombre de classe variant entre 2 et 13, les résultats des indicateurs sont les suivants :

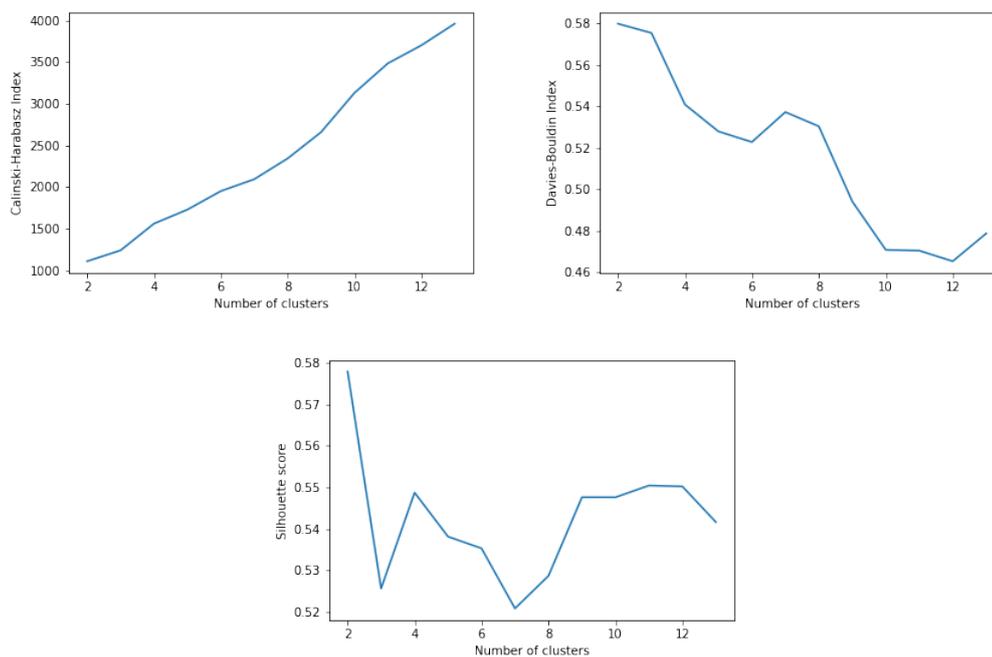


FIGURE 4.9 – Indicateurs étudiés afin de déterminer le nombre de classes optimal

Le nombre optimal de classes est le nombre qui maximise l'indice de Calinski-Harabasz, minimise l'indice de Davies-Bouldin et maximise le score Silhouette.

Ici, le nombre optimal de classes est de **12**.

Afin d'obtenir le regroupement des notes ESG en 12 classes, la fonction *JenksNaturalBreaks* de Python est utilisée.

L'algorithme effectue les regroupements suivants :

$$[0, 9.7, 12.9, 15.4, 17.5, 19.4, 21.6, 23.8, 26.4, 29.4, 32.8, 39.7, 100]$$

Graphiquement, la répartition des notes ESG selon les classes déterminées est la suivante :

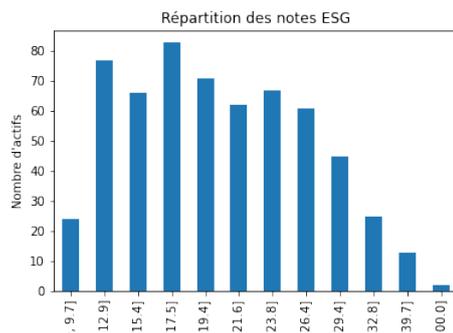


FIGURE 4.10 – Répartition des notes ESG par classe

### Regroupement des données selon les notes E, S et G

Si le regroupement des données en 1 dimension permet de partitionner les données selon leurs notes ESG, une deuxième solution est de regrouper ces données selon leurs notes E, S et G. En effet, les données E, S et G apportent des informations supplémentaires par rapport à la note ESG seule, qui en est une agrégation ; permettant de considérer plus finement les risques auxquels sont exposés les actifs.

Graphiquement, les notes E, S et G des composants du Stoxx Europe 600 sont réparties de la manière suivante :

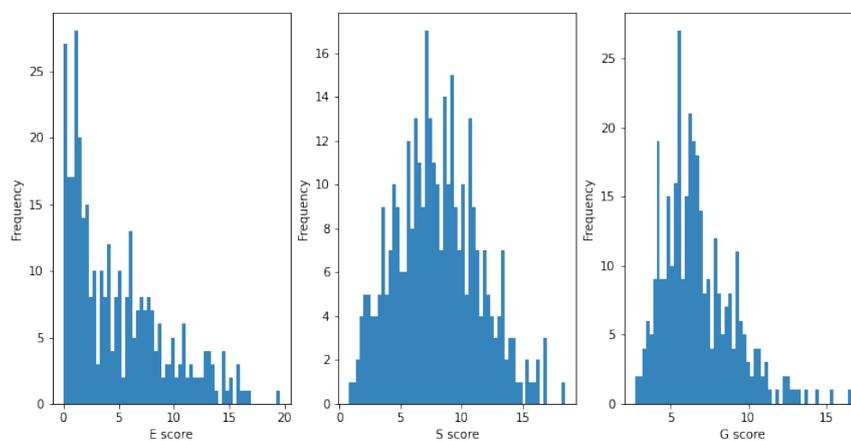


FIGURE 4.11 – Répartition des notes E, S et G du Stoxx Europe 600

Pour regrouper les données selon les notes E, S et G, il s'agit alors d'utiliser une méthode non supervisée de *Machine learning* : l'algorithme des **k-moyennes**. Cette méthode permet de partitionner les données en sous-groupes ayant des caractéristiques similaires. En minimisant la distance entre une donnée et le centroïde de la classe, celui-ci permet

de segmenter les données en plusieurs groupes (nommés *cluster*) à partir d'un ensemble de données et d'un nombre  $k$  de classes.

Autrement dit, soit un ensemble de points  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  à partitionner en  $k$  ensembles  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ ,  $k \leq n$ . L'ensemble des *clusters*  $C$  est déterminé par :

$$\underset{C}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in C_i} \|x_j - \mu_i\|^2$$

où  $\mu_i$  est le barycentre des points du *cluster*  $C_i$ .

Une étape fondamentale consiste donc à déterminer le nombre optimal de *cluster* dans lesquels les données vont être regroupées. Ici, 2 indicateurs peuvent être utilisés :

— La **méthode du coude**.

Il s'agit pour chaque valeur de  $k$ , de calculer la variance<sup>8</sup> à partir des *clusters* déterminés grâce à l'algorithme des k-moyennes.

Cette méthode graphique permet de déterminer le nombre de *cluster* optimal, qui se trouve au **point de courbure** de la courbe de la variance en fonction du nombre de *cluster*  $k$ .

— L'**indice de Calinski-Harabasz** - défini au paragraphe 4.2.3 - qui est cherché à **maximiser**.

Afin de déterminer le nombre de classes optimal pour répartir les données ESG des composantes du Stoxx Europe 600 selon les notations E, S et G, plusieurs nombres de classes sont testés.

Pour un nombre de *clusters* variant entre 2 et 13, les résultats des indicateurs sont les suivants :

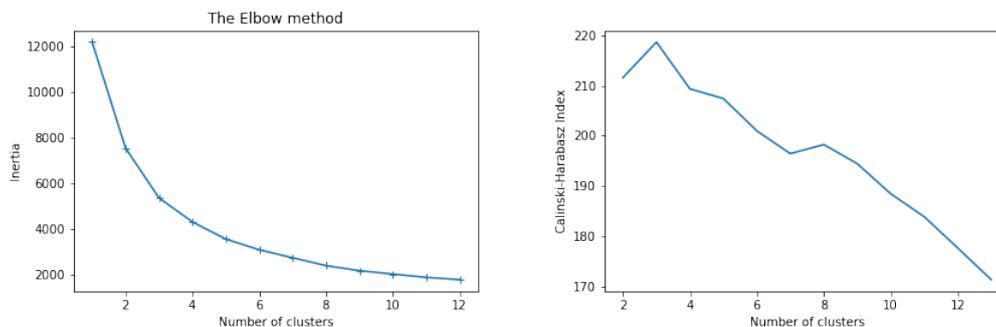


FIGURE 4.12 – Indicateurs étudiés afin de déterminer le nombre de classes optimal

Ici, le point de courbure de la méthode du coude est visible pour un nombre de *cluster* égal à 2 et 3. Or, le nombre de *cluster* qui maximise l'indice de Calinski-Harabasz est de

8. Somme des distances au carré des points par rapport au centroïde du *cluster* auquel ils appartiennent.

3. Ainsi, ici, le nombre optimal de *clusters* est de **3**.

L'algorithme des k-moyennes est appliqué avec la fonction *kmeans* de Python en considérant que  $k = 3$ . Graphiquement la répartition suivante des *cluster* selon les notes E, S et G est obtenue :

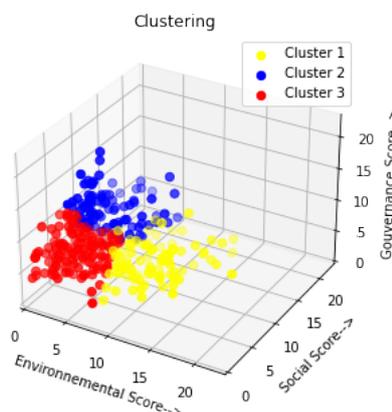


FIGURE 4.13 – Répartition des notations du Stoxx Europe 600 en 3 dimensions selon les *clusters* définis

Les composantes du Stoxx Europe 600 sont réparties de manière équivalente à 28% dans les *clusters* 1 & 2 et à 44% dans le *cluster* 3.

Les centroïdes des 3 *clusters* déterminés sont les suivants :

Cluster	Centroïde (E; S; G)
1	(10,65; 7,62; 6,16)
2	(2,93; 11,37; 8,51)
3	(2,55; 5,76; 5,81)

TABLE 4.2 – Centroïdes des *clusters*

D'un point de vue ESG, le *cluster* 3 représente le *cluster* avec le risque ESG le plus faible (car ses notes E, S et G sont les plus faibles).

Bien qu'il s'agisse ici d'étudier les notes E, S et G séparément, afin d'avoir une approximation sur le risque ESG des *clusters* 1 et 2, la moyenne des notes E, S et G est calculée pour ces *clusters*. Ainsi, d'un point de vue de la moyenne, le *cluster* 2 ( $moyenne_{cluster_2} = 7,6$ ) a un risque ESG plus faible que le *cluster* 1 ( $moyenne_{cluster_1} = 8,14$ ).

La segmentation de l'indice en 3 dimensions, différente de la segmentation menée à 1 dimension (voir annexe 4.3.2), souligne l'intérêt de mener les études extra-financières à la fois sur un axe agrégé ESG mais aussi selon chaque pilier de risque E, S et G.

#### 4.2.4 Détermination de profils de risques en fonction de la notation ESG

Des résultats précédents, il est possible de déterminer si, et dans quelle mesure le choc actions pourra être modulé selon la note ESG.

Pour rappel, la stratégie suivante est mise en place sur les composantes du Stoxx Europe 600 :

1. **Calcul de mesure de risque sur chacun des actifs :**

Les métriques calculées sont la **VaR** historique, la **CVaR** historique<sup>9</sup> et le **Max Drawdown**. Celles-ci sont calculées sur des rendements **annuels** des composantes du Stoxx Europe 600.

*Pour rappel, le SCR correspondant à la VaR de la perte en fonds propres économiques de l'assureur sur un horizon 1 an avec un niveau de confiance 99,5%.*

Ainsi, la VaR et la CVaR à 1 an de chaque composant de l'indice du Stoxx Europe 600 seront calculées au niveau de risque **99,5%**.

2. **Regroupement des actifs selon des catégories de notes ESG à date de l'étude :**

La stratégie sera appliquée aux différents regroupements de notes ESG étudiés précédemment : le regroupement selon la note ESG (1 dimension), le regroupement selon les notes E, S et G (3 dimensions) et les catégories établies par Sustainalytics.

3. **Calcul - pour chaque catégorie de notes ESG - de la moyenne de la mesure de risque des actifs composant cette catégorie.**

Cela revient à regarder : par portefeuille (équipondéré) d'actifs ayant une note ESG similaire, comment se comporte le portefeuille ?

En d'autres termes, la stratégie mise en place par l'EIOPA pour déterminer le choc action est appliquée, mais sur d'autres portefeuilles, définis selon le niveau de risque ESG des actifs les composant.

Dans le cas où des catégories de profil de risques ESG sont mises en évidence, le choc actions pourra être ajusté à la notation ESG des actifs.

A noter que 3 actifs sont cotés depuis moins d'un an au 31 octobre 2022 : Daimler Truck Holding AG, Exor N.V. et HALEON plc. Ces 3 actifs sont donc exclus de l'étude car celle-ci porte sur les rendements annuels.

Tout d'abord, les VaR et CVaR historiques à 1 an au niveau de risque 99,5% et le Max Drawdown sont calculés sur chaque actif. Les distributions sont les suivantes :

---

9. Les VaR et CVaR constituées seront positives.

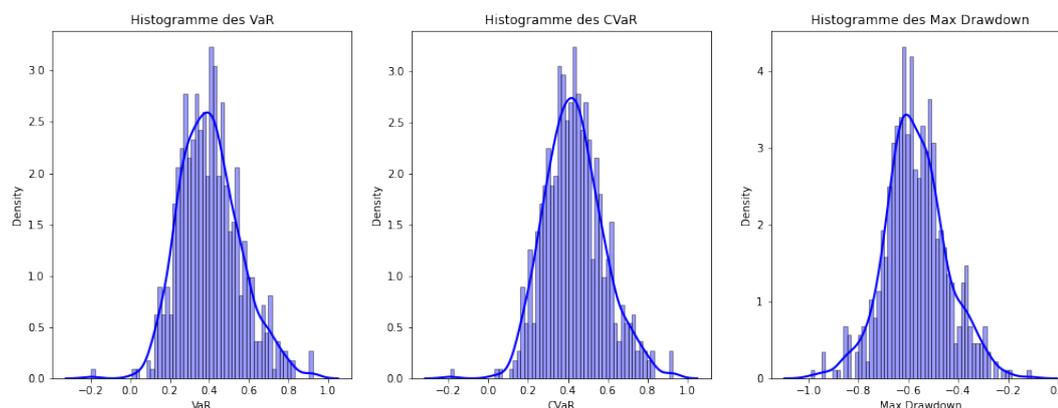


FIGURE 4.14 – Distribution de la VaR, de la CVaR et du Max Drawdown

Pour définir les distributions, les moments d'ordre 3 (coefficient d'asymétrie) et d'ordre 4 (coefficient d'aplatissement) sont calculés :

	Skewness	Kurtosis
<b>VaR</b>	0.397989	0.483167
<b>CVaR</b>	0.297726	0.572908
<b>Max Drawdown</b>	0.145631	0.621199

TABLE 4.3 – Moments d'ordre 3 et 4 de la VaR, de la CVaR et du Max Drawdown

Pour chacune des 3 mesures :

- Le moment d'ordre 3 est supérieur à 0, permettant d'affirmer que la distribution est décalée à gauche de la médiane, ayant ainsi une queue de distribution étalée vers la droite.
- Le moment d'ordre 4 est inférieur à 3, permettant d'affirmer que la distribution est platikurtique.

Afin de calculer, pour chaque catégorie de note ESG, la moyenne de la mesure de risque des actifs composant cette catégorie, les résultats des VaR et CVaR à 1 an au niveau de risque 99,5% ainsi que du Max Drawdown sont agrégés par catégorie, pour chaque regroupement de données.

$$metrique_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \mathbb{1}_{classe_j=i}} \sum_{j=1}^n metrique_j \times \mathbb{1}_{classe_j=i}$$

avec :

-  $metrique_i$  la métrique de risque (VaR, CVaR ou Max Drawdown) correspondant à la

- catégorie  $i$  pour chaque regroupement de données ;  
 -  $classe_j$  la catégorie à laquelle appartient l'actif  $j$  ;  
 -  $metrique_j$  la métrique de risque (VaR, CVaR ou Max drawdown) de l'actif  $j$  ;  
 -  $n = 597$ , le nombre d'actifs du Stoxx Europe 600 considérés dans l'étude.

### Regroupement des données selon les catégories Sustainalytics

La catégorie 5 ne regroupant que 2 actifs, par souci d'interprétation, les catégories 4 et 5 sont fusionnées. Ainsi, sur les catégories déterminées par le fournisseur de données ESG, les résultats des mesures de risques (exprimés en pourcentages) agrégés par classe sont les suivants :

Cluster	VaR	CVaR	Max drawdown	Nombre d'actifs
1	38.410060	41.933524	-56.261822	24
2	37.843126	40.679256	-55.471050	308
3	43.079380	45.843164	-58.945378	227
4	46.506333	49.836759	-61.821266	35

TABLE 4.4 – Mesure de risque (en %) par catégorie Sustainalytics

Afin de prendre en compte les variations de chaque mesure de risque selon sa catégorie, la moyenne de chaque mesure de risque sur l'ensemble des catégories est calculée :

VaR	CVaR	Max drawdown
41.459725	44.573176	-58.124879

Graphiquement les résultats de chaque métrique en fonction des classes sont les suivants :

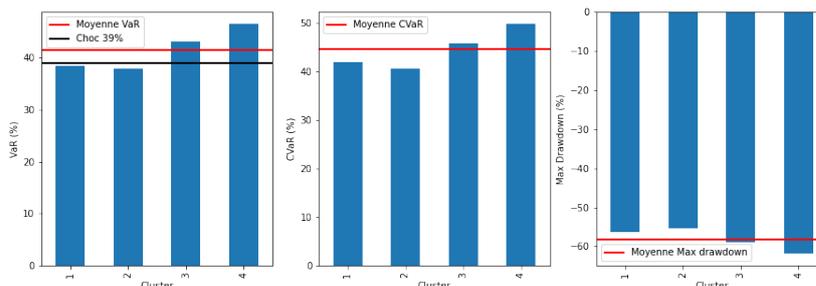


FIGURE 4.15 – VaR, CVaR et Max Drawdown par catégorie Sustainalytics

Ici, sont distingués :

- les catégories 1 et 2, dont les mesures sont inférieures à leur moyenne. De plus, la VaR est inférieure au seuil de 39% ;

- les catégories 3 et 4, dont les mesures sont supérieures à leur moyenne. La VaR est de plus supérieure au seuil de 39%.

Ici, les actifs ayant une meilleur note de risque ESG (catégories 1 et 2) **résistent mieux au risque financier** : ceux-ci ont des mesures de risque (VaR, CVaR, Max Drawdown) plus faibles que les actifs ayant un risque ESG plus élevé (catégories 3 et 4).

### Regroupement des données selon la note ESG

Premièrement, la répartition des actifs du Stoxx Europe 600 dans chaque classe est la suivante :

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nombre d'actifs	24	75	66	83	71	62	67	61	45	25	13	2

La classe n°12 n'est constitué que de 2 actifs. Ainsi, dans l'optique d'avoir des résultats interprétables, il est considéré que les classes 11 et 12 sont fusionnées. La classe n°11 est ainsi définie par l'intervalle [32, 8; 100].

Les résultats des mesures de risques (exprimés en pourcentages) agrégés par classe sont les suivants :

Cluster	VaR	CVaR	Max drawdown	Nombre d'actifs
1	38.410060	41.933524	-56.261822	24
2	38.550218	41.341323	-55.940740	75
3	37.777432	40.885726	-54.733087	66
4	36.507330	39.285370	-55.155603	83
5	37.137769	39.805138	-54.294923	71
6	40.105958	42.977973	-56.136732	62
7	44.638697	47.276025	-60.510456	67
8	41.353779	44.080409	-58.331947	61
9	45.050536	47.847779	-59.985187	45
10	42.998404	46.319119	-58.160536	25
11	50.585339	54.121813	-66.157405	15

TABLE 4.5 – Mesure de risque (en %) par classe (1 dimension)

Graphiquement, les résultats de chaque métrique en fonction des classes sont les suivants :

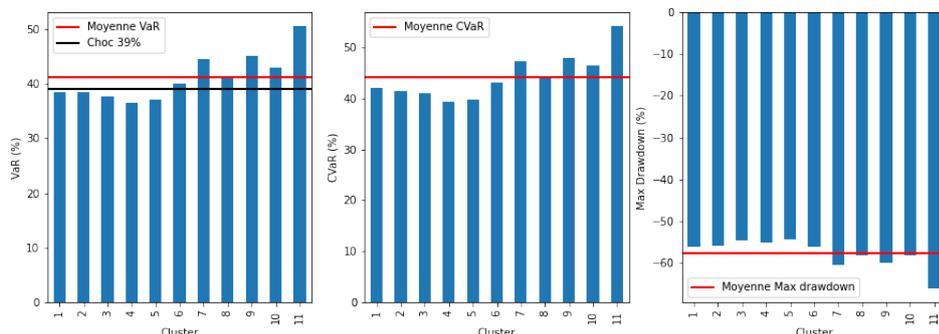


FIGURE 4.16 – VaR, CVaR et Max Drawdown par classe

A première vue, trois catégories sont distinguées :

- Les classes 1 à 5, ayant des VaR, CVaR et Max Drawdown plus faibles (inférieurs à la moyenne de chaque métrique) et notamment une VaR inférieure à 39%.
- La classe 6, ayant des VaR, CVaR et Max Drawdown inférieurs à la moyenne de chacune des métriques mais une VaR supérieure à 39%.
- Les classes 7 à 11, ayant des VaR, CVaR et Max Drawdown plus élevés (supérieurs à la moyenne de chaque métrique) et de fait une VaR supérieure à 39%.

De même sur ce regroupement des données, il est mis en évidence qu'en moyenne, les actifs ayant des notes ESG meilleures / plus faibles (catégories 1 à 6) **résistent mieux au risque** : ceux-ci ont des mesures de risque (VaR, CVaR, Max Drawdown) plus faibles que les actifs ayant des notes ESG moins bonnes / plus élevées (catégories 7 à 11).

Néanmoins, les mesures de risque n'évoluent pas de manière croissante avec la notation ESG. Il aurait pu être attendu à ce que chaque métrique de risque soit la plus faible pour la classe 1, et augmente progressivement d'une classe à l'autre, jusqu'à être la plus élevée pour la classe 11. Cela n'est ni le cas sur l'ensemble des classes, ni le cas au sein des catégories distinguées. En effet, ce sont les classes 4 et 5 qui ont les métriques les plus faibles.

De fait, ce constat pourrait venir nuancer l'intuition selon laquelle une relation directe peut être observée entre risque extra-financier (dans notre cas, la note ESG) et risque financier (ici, VaR, cVaR et Max Drawdown). Si les résultats mettent en exergue la tendance des actifs à être moins risqués lorsque la note ESG s'améliore, ce n'est pas une relation d'ordre directe.

Néanmoins, la note ESG globale du titre étant une agrégation de trois notes (E, S et G), il est par exemple possible que deux actifs possèdent la même notation de risque ESG, le premier étant « équilibré » sur les trois composantes de risque E, S et G ; le second étant exposé à un risque Environnemental très important, compensé (mathématiquement) par

des notations S et G suffisantes. Par conséquent, il est nécessaire d'aller plus loin à travers une analyse en trois dimensions.

### Regroupement des données selon les notes E, S et G

La même stratégie est appliquée sur le regroupement de données selon les notes E, S et G (3 dimensions). Sur les 3 *clusters* déterminés, les résultats sont les suivants :

Cluster	VaR	CVaR	Max drawdown	Nombre d'actifs
1	40.429650	43.467553	-57.140221	95
2	40.265093	42.965602	-56.473536	107
3	36.863413	39.842625	-54.290731	145

TABLE 4.6 – Mesure de risque (en %) par *cluster* (3 dimensions)

Graphiquement :

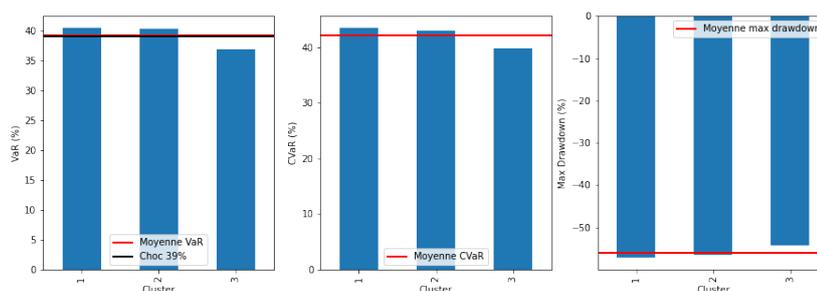


FIGURE 4.17 – VaR, CVaR et Max Drawdown par *cluster*

Clairement, les résultats de chaque mesure de risque du *cluster* n°3 - contrairement aux *clusters* 1 et 2 - sont bien en deçà de la moyenne de chaque mesure.

Il a été vu au paragraphe 4.2.3 que d'un point de vue ESG, le *cluster* n°3 est le *cluster* ayant le risque ESG le plus faible, car son centroïde est le plus faible en termes de notes E, S et G : (2, 55; 5, 76; 5, 81).

Par ordre croissant de *cluster* ayant le risque ESG le plus faible, se trouvent le *cluster* 3 puis le *cluster* 2 puis enfin le *cluster* 1. Cette hiérarchie des *clusters* se retrouve dans les résultats des mesures de risque - confirmant également sur le regroupement des actifs selon les notes E, S et G, que les actifs ayant une note ESG plus faible **résistent mieux au risque financier**.

Finalement, quel que soit le regroupement de données ESG, il est mis en évidence que les actifs ayant des notes plus faibles (i.e. les meilleures) résistent mieux au risque.

Ces résultats appuient les propos engagés en partie 1.5 qui soutiennent qu'empiriquement, les actifs ayant une bonne notation ESG ont un risque réduit.

Néanmoins, bien qu'une tendance se dessine, les mesures de risque ne sont pas toujours démontrées croissantes en fonction de la note ESG (comme le montrent le regroupement selon la note ESG et les catégories Sustainalytics).

Le regroupement des données selon les notes E, S et G offre, lui, une croissance des mesures de risques lorsque les notes E, S, G se dégradent.

Ainsi, la mise en évidence de la résistance au risque des actifs ESG les mieux notés permet de justifier l'ajustement du choc actions en fonction de la notation ESG.

#### 4.2.5 Ajustement du choc actions en fonction de la notation ESG

Les résultats de la section précédente permettent de justifier que le choc actions peut être ajusté à la notation ESG, celle-ci réduisant le risque lorsqu'elle tend à être la meilleure.

Il est ainsi considéré qu'un actif « vert » (i.e. ayant une notation ESG plus faible) va avoir un choc réduit par rapport au choc action initial de la formule standard de 39%.

Néanmoins, les actifs dits « bruns » (i.e. ayant une note ESG plus élevée) induisent un risque plus important. Il n'est donc pas considéré que le choc actions ajusté à la note ESG sera plafonné à 39% mais que le choc actions est également modulé par les notes ESG des actifs « bruns ».

Si les calculs de la CVaR et du Max drawdown confortent les précédentes déductions et observations mises en évidence sur les actifs ayant une note ESG plus faible, seule la VaR sera utilisée pour calibrer les chocs ajustés - par souci de cohérence avec la méthodologie de l'EIOPA.

Pour déterminer les chocs actions ajustés à la note ESG, les VaR sont réindexées sur le choc initial de la formule standard de Solvabilité 2 de 39% :

$$choc_i = VaR_i \times \frac{39\%}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n VaR_j}$$

avec :

- $i \in \{1, n\}$  la catégorie considérée, et  $n$  le nombre de catégories ;
- $VaR_i$  la VaR de la catégorie  $i$ .

A partir des résultats précédents, cette stratégie est appliquée pour chaque regroupement de données ESG.

Cluster	Choc ajusté
1	36.365816
2	36.498515
3	35.766857
4	34.564352
5	35.161239
6	37.971456
7	42.262955
8	39.152866
9	42.652875
10	40.709961
11	47.893108

TABLE 4.7 – Choc action ajusté à la note ESG (en %) par classe (1 dimension)

Cluster	Choc ajusté
1	40.237693
2	40.073918
3	36.688389

TABLE 4.8 – Choc action ajusté à la note ESG (en %) par *cluster* (3 dimensions)

Cluster	Choc ajusté
1	36.131266
2	35.597967
3	40.523564
4	43.747203

TABLE 4.9 – Choc action ajusté à la note ESG (en %) par catégorie Sustainability

Quelques remarques selon le regroupement utilisé :

— **Pour le regroupement selon la notation ESG :**

Ici, un choc plus faible sera assigné pour les actifs avec des notes de risque ESG faibles (classes 1 à 6), et un choc plus élevé pour les notes de risque ESG élevées (classes 7 à 11).

Bien que cohérente au regard de la méthodologie appliquée initialement par l’EIOPA pour calibrer le choc action, celle-ci n’induit pour autant pas une relation d’ordres systématique intra-groupe (entre les des classes 1 à 6, ou entre les classes 7 à 11), laissant entendre que la relation entre le risque de marché et la notation ESG de l’actif s’estompe au-delà d’une certaine maille d’étude.

— **Pour le regroupement selon les notes E, S, G :**

Comme définis, le *cluster* 3 (ayant le profil de risque le plus faible) a un choc réduit par rapport au choc de la formule standard de 39%, lorsque les *clusters* 1 et 2 (ayant un profil de risque plus élevé) ont un choc supérieur.

— **Pour le regroupement selon les catégories Sustainalytics :**

Bien que le choc action ajusté à la note ESG de la catégorie 1 soit légèrement supérieur à celui de la catégorie 2, la croissance du choc ajusté en fonction de la note ESG est plutôt mise en évidence.

De fait, si la mise en évidence de la résistance au risque des actifs ESG les mieux notés permet de justifier l'ajustement du choc actions en fonction de la notation ESG, les analyses statistiques réalisées au sein de ce mémoire incitent à mener cet ajustement à la baisse pour les actifs avec les meilleures notes ESG, et à la hausse pour les notes ESG les plus médiocres.

Il faut néanmoins noter l'**importance du regroupement des notes ESG** dans la détermination des chocs actions ajustés à la note ESG.

### 4.3 Application sur les portefeuilles

Dans cette partie, les chocs déterminés au paragraphe précédent seront appliqués à plusieurs portefeuilles. Dans un premier temps, aux portefeuilles étudiés dans le chapitre 3, puis dans un second temps sur des portefeuilles témoins.

Sur chaque actif des portefeuilles, les chocs actions ajustés à la note ESG déterminés précédemment sont appliqués à la valeur de marché de l'actif à date de l'étude (i.e. au 1er juillet 2022) ; en considérant que l'ajustement symétrique  $AS$  à la date de l'étude est ajouté au chocs actions ajustés à la note ESG. D'après l'EIOPA,  $AS = -5,29\%$ .

Dans cette partie, les chocs actions globaux des portefeuilles seront étudiés.

#### 4.3.1 Exemple d'application sur les portefeuilles de l'étude

Les chocs actions ajustés à la note ESG des actifs ont été définis selon des regroupements de données.

Si la classe est toute trouvée pour le regroupement selon la note ESG (en 1 dimension) des données (car les intervalles sont connus), ce n'est pas le cas pour le regroupement selon les notes E, S et G (en 3 dimensions).

En effet, l'algorithme des k-moyennes détermine les *clusters* en minimisant la distance entre les centroïdes des *clusters* et les points les constituant. Pour un autre jeu de données, il faut ainsi déterminer à quel *cluster* appartient chaque individu (dans le cas étudié, des actifs financiers).

Pour chaque actif  $j$  du portefeuille étudié, le *cluster* est alors déterminé en minimisant la distance euclidienne dans le repère E, S, G des coordonnées de l'actif par rapport au centroïde du *cluster* :

$$cluster_j = \left\{ i \in \{1, 2, 3\} \mid \min_{i=\{1,2,3\}} \left( \sqrt{\sum_k (note_{k,j} - centroide_{k,i})^2} \right) \right\}$$

avec :

- $cluster_j$  le *cluster* de l'actif  $j$  ;
- $k$  prenant les valeurs E, S et G ;
- $note_{k,j}$  la note  $k \in \{E, S, G\}$  de l'actif  $j$  ;
- $centroide_{k,i}$  la coordonnée  $k \in \{E, S, G\}$  du *cluster*  $i \in \{1, 2, 3\}$  définis à la table 4.2.

Par exemple, les notes E, S et G de Air Liquide sont :

Note E	Note S	Note G
6,7	3,5	3,4

Les distances euclidiennes du point (E,S,G) de cet actif par rapport aux centroïdes des *clusters* 1, 2, 3 sont :

Distance Cluster 1	Distance Cluster 2	Distance Cluster 3
6,34	10,12	5,3

Ainsi, la distance euclidienne au *cluster* 3 étant la plus faible, l'actif Air Liquide appartient au *cluster* 3.

Les chocs déterminés précédemment sont appliqués au portefeuille initial étudié dans le chapitre 3 (*cf* 3.2.2) composé des titres du CAC 40 au 1er juillet 2022.

La répartition des notes ESG du portefeuille, par rapport au regroupement selon la note ESG (1 dimension), au regroupement selon les notes E, S et G (3 dimensions) ainsi qu'au regroupement selon les catégories ESG Sustainalytics est la suivante :

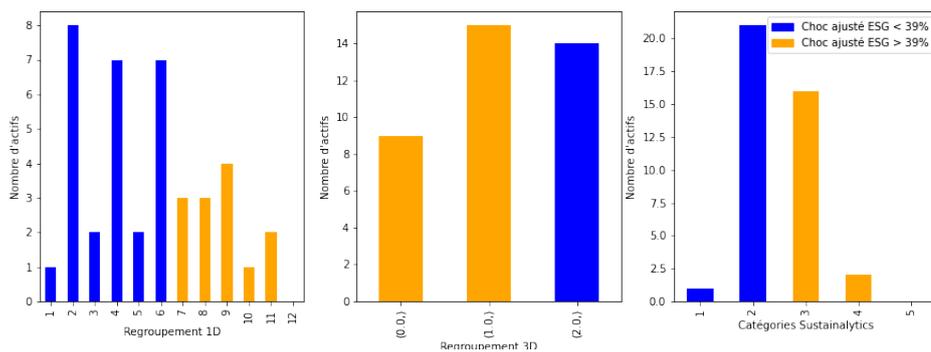


FIGURE 4.18 – Répartition des notes ESG

### Application sur les portefeuilles optimisés intégrant les enjeux ESG

Les chocs actions sont calculés à partir des chocs actions ajustés à la note ESG pour les portefeuilles optimisés intégrant les enjeux ESG, pour les profils d'intérêt aux enjeux ESG 1, 4 et 10. Pour rappel, le profil n°1 n'accorde aucune importance aux enjeux ESG et sa fonction d'utilité n'est autre que la fonction d'utilité de Markowitz. Les résultats sont les suivants :

	Portefeuille optimisé sans ESG	Portefeuille optimisé ESG i=4	Portefeuille optimisé ESG i=10
<b>SCR Regroupement 1D</b>	0.315016	0.317255	0.316037
<b>SCR Regroupement 3D</b>	0.322977	0.322034	0.320708
<b>SCR Catégories Sustainalytics</b>	0.309216	0.309628	0.308278
<b>SCR S2</b>	0.338200	0.338200	0.338200

TABLE 4.10 – Chocs actions globaux calculés avec les chocs actions ajustés à la note ESG calibrés selon le regroupement en 1 dimension, le regroupement en 3 dimensions ainsi que les catégories ESG Sustainalytics.

Les actifs unitaires du portefeuille sont plutôt bien notés : par exemple sur le regroupement selon la note ESG, 67,5% des actifs ont une note ESG appartenant aux classes 1 à 6 i.e. une notation meilleure que la moyenne.

En considérant ce portefeuille, les chocs ajustés à la notation ESG pour les 3 regroupements permettent de réduire le choc actions global par rapport à la formule standard (choc de 33,82% avec l'ajustement symétrique).

Néanmoins, pour chaque regroupement, il n'est pas observé d'incidence significative du profil d'intérêt aux enjeux ESG sur le choc actions.

L'optimisation des portefeuilles intégrant les enjeux ESG joue sur l'allocation ; modulant les poids selon le triptyque rendement/risque/ESG. Améliorer la note globale du portefeuille ne signifie alors pas que les actifs ayant de mauvaises notations sont exclus. De fait, l'ajustement des chocs actions selon les notations ESG étant réalisé actif par actif et ne prenant pas en compte les poids en portefeuille, l'optimisation du portefeuille en intégrant les enjeux ESG en fonction du profil d'intérêt aux enjeux ESG a un impact négligeable sur le choc actions global du portefeuille.

### Application sur les portefeuilles optimisés intégrant les enjeux ESG et la notion de dispersion des notes

Les chocs actions ajustés à la notation ESG déterminés précédemment sont appliqués aux portefeuilles optimaux intégrant les enjeux ESG et la notion de dispersion des notes à la fonction d'utilité, défini dans la section 3.3.3.

Pour les profils d'intérêt aux enjeux ESG 1, 4 et 10, les résultats sont les suivants :

	Portefeuille optimal ESG & dispersion i=4	Portefeuille optimal ESG & dispersion i=10
SCR Regroupement 1D	0.317468	0.315729
SCR Regroupement 3D	0.321974	0.319619
SCR Catégories Sustainalytics	0.309456	0.308354
SCR S2	0.338200	0.338200

TABLE 4.11 – Chocs actions globaux calculés avec les chocs actions ajustés à la note ESG pour le portefeuille optimal intégrant les enjeux ESG et la notion de dispersion des notes

Il serait attendu à ce que la réduction de la dispersion des notes ESG des actifs du portefeuille permette de considérer des actifs ayant des notes ESG meilleures. Néanmoins, celle-ci n'influant que modérément sur le portefeuille optimal, il n'est pas observé de réduction des chocs actions globaux, pour chaque regroupement, par rapport aux résultats précédents sur les portefeuilles optimisés sans la dispersion dans la fonction d'utilité. Ce phénomène peut s'expliquer par le nombre d'actifs étudiés dans l'univers investissable (ici le portefeuille étant l'indice CAC 40 en date du 1<sup>er</sup> juillet 2022), qui sont répartis sur un segment restreint de l'échelle de notation étudiée.

Pour aller plus loin, il faut analyser dans quelle mesure la dispersion des notations peut avoir une incidence sur les chocs ajustés, selon les différentes méthodologies étudiées.

### 4.3.2 Impact de la répartition ESG d'un portefeuille sur le choc actions

Dans cette sous-partie, il est question de quantifier l'impact d'une répartition des titres d'un portefeuille dans certaines catégories de notes ESG sur le choc actions global d'un portefeuille prenant en compte les chocs actions ajustés à la note ESG<sup>10</sup>.

Il est considéré 5 portefeuilles témoins ayant les répartitions de notes ESG suivantes :

1. Tous les actifs appartiennent à la classe de notes ESG la meilleure ;
2. 50% des actifs du portefeuille appartiennent à la classe de notes ESG la meilleure, les 50% restant sont répartis de manière équivalente sur les classes restantes ;
3. Les actifs du portefeuille sont répartis de manière équivalente sur les classes ;
4. 50% des actifs du portefeuille appartiennent à la classe de notes ESG la moins bonne, les 50% restant sont répartis de manière équivalente sur les classes restantes ;
5. Tous les actifs appartiennent à la classe de notes ESG la moins bonne.

Les répartitions des portefeuilles selon les 3 catégories de regroupement déterminées précédemment sont les suivantes :

10. L'ajustement symétrique n'est pas considéré dans cette sous-partie

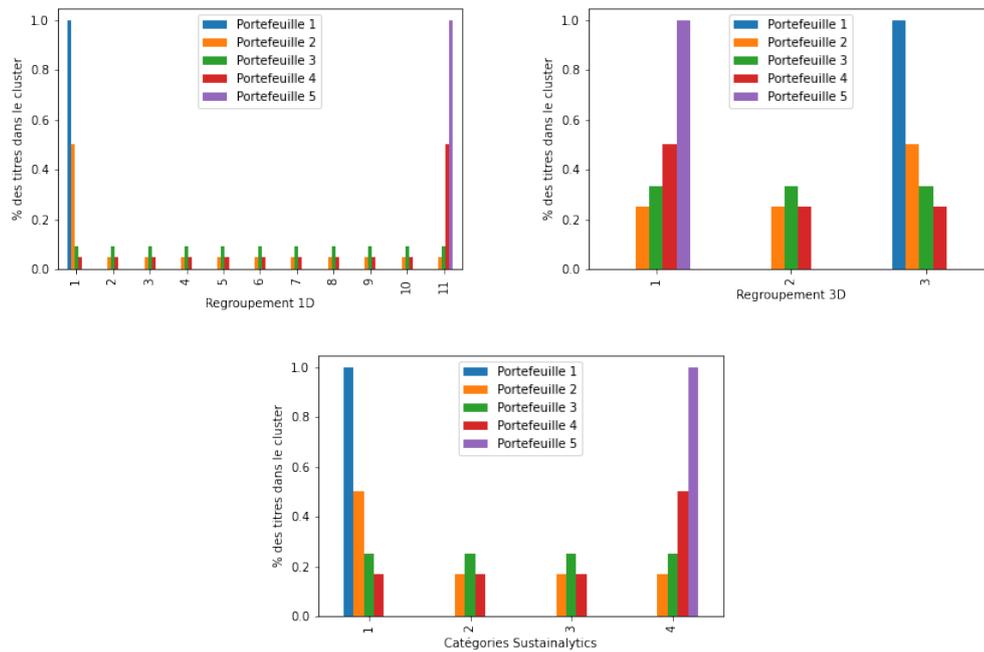


FIGURE 4.19 – Répartition des notes ESG des portefeuilles selon les différents regroupements

Les résultats des chocs actions globaux des 5 portefeuilles déterminés sont les suivants :

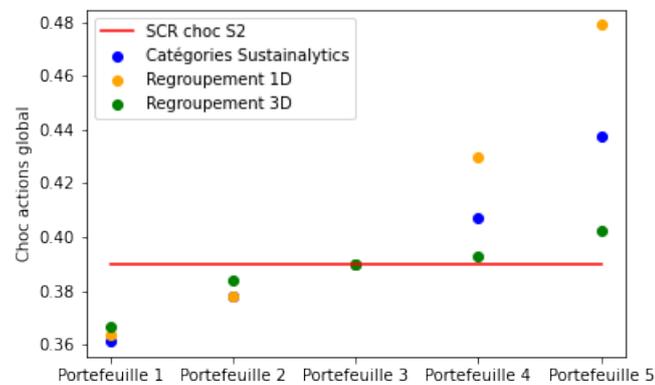


FIGURE 4.20 – Choc actions des 5 portefeuilles témoins

Par construction, le portefeuille 3 (réparti de manière équivalente selon les notes ESG) a un choc actions ajusté à la note ESG équivalent au choc actions avec le choc de la formule standard de 39%, et ce pour tous les regroupements.

Si les différents regroupements mènent à des résultats bien différents dès lors que le portefeuille tend à avoir des notes ESG mauvaises, les résultats sont pour autant assez proches lorsque les notes ESG sont bonnes. En effet, le choc actions ajusté à la notation ESG induit de plus grandes variations autour du choc de la formule standard de 39% avec le regroupement selon la note ESG (1 dimension), puis avec le regroupement selon les catégories Sustainalytics. Finalement, le regroupement selon les notes E, S et G induit le moins de variations autour du choc de 39%.

Ce phénomène s'explique par la distribution des VaR des actifs composant l'indice Stoxx Europe 600, utilisé comme référence pour le calibrage de nos chocs.

En effet, la présence d'une queue de distribution étalée vers la droite, générée par les actifs dont la notation ESG est la plus mauvaise et avec une VaR dégradée (*cf* 4.3), va générer un biais dans le choc ajusté subi par les actifs aux moins bonnes notations. Ainsi, plus le nombre de *clusters* choisi pour calibrer le choc sera élevé, plus les actifs « extrêmes » (ie responsables du phénomène de skewness positif) seront répartis au sein de *clusters* aux effectifs réduits, et moins les chocs associés à ces *clusters* seront atténués par un « calcul moyen », les calculs de VaR étant alors menés sur des *clusters* composés d'actifs plus homogènes entre eux (notation ESG mauvaise et VaR importante).

En conséquence, un nombre important de *clusters* induira ici une plus forte sanction des actifs bruns.

Finalement, les résultats de cette section permettent d'avancer que réduire le choc actions d'un portefeuille - avec les méthodologies d'ajustement présentées - ne signifie pas uniquement réduire la note ESG du portefeuille mais également réduire la contribution marginale de chacun des actifs composant le portefeuille à la note ESG globale.

De fait, les portefeuilles avantagés par ces chocs ajustés seront les portefeuilles dont la note moyenne ESG est la plus faible et dont la dispersion des notes ESG sur la droite est la plus faible (*upside-dispersion*).

Ces observations induisent donc que selon la méthodologie adoptée par le régulateur pour moduler le choc actions, les assureurs pourraient être inciter à accorder plus ou moins d'importance aux critères extra-financiers, que ce soit à travers la note moyenne du portefeuille ou aux risques individuelles de chaque actif.

## Conclusion du chapitre 4

Dans ce chapitre, une approche a été proposée afin d'intégrer dans le choc actions Solvabilité 2 les enjeux extra-financiers, en justifiant que ceux-ci ont un impact sur le risque financier et en apportant un ajustement du choc actions selon la notation ESG des actifs composant le portefeuille.

La démarche, menée sur l'indice Stoxx Europe 600 (représentatif du marché actions européen), propose d'abord de réaliser une segmentation du spectre de notation ESG en plusieurs groupes, permettant de qualifier un actif de « vert » ou « brun ». Les catégories de risques fournies par une agence de notation (extra-financière dans notre cas) n'étant pas forcément exploitables en l'état (e.g. répartition d'actifs déséquilibrée, effet de seuil, ...), ce constat peut être atténué en adoptant une approche statistique (ici le *clustering*). Les approches adoptées (algorithmes de Jenks et de k-moyenne) permettent de réaliser plusieurs regroupements, selon la notation ESG des actifs (regroupement en 1 dimension) ou selon les notations de chacun des trois piliers E, S et G (regroupement en 3 dimensions). Les regroupements en 1 dimension et en 3 dimensions générant des mosaïques significativement différentes, ces résultats renforcent l'intérêt à porter à ces deux visions lorsque des aspects extra-financiers sont considérés dans le cadre du pilotage d'un portefeuille d'investissement.

Sur chaque regroupement de données, les mesures de risque calculées permettent de mettre en exergue que :

- Les actifs ayant des notes ESG meilleures ont un risque financier réduit ;
- Les actifs ayant des notes ESG dégradées ont un risque financier plus élevé.

Ce constat justifie l'ajustement du choc actions en fonction de la notation ESG. L'approche menée, dans la continuité de la méthodologie adoptée par l'EIOPA, a permis de moduler le choc actions en fonction de la VaR historique observée selon chaque niveau de risque ESG, ce-dernier étant propre à chaque *cluster*.

Néanmoins, l'observation de réduction du risque financier avec l'amélioration de la note ESG est à nuancer quand l'analyse est réalisée à une maille plus fine. En effet, dans le cas d'une segmentation du spectre de notation en un nombre de groupes plus important (e.g. cas des 11 classes en 1 dimension), la relation d'ordre deux à deux entre les différents groupes mitoyens n'est pas systématique.

De plus, la distribution des mesures de risque des actifs composant l'indice de référence utilisé pour réaliser la segmentation n'est pas à négliger. Dans l'exemple traité, la présence d'une asymétrie (*positive skew*) cumulée à une maille d'étude fine peut engendrer des chocs ajustés beaucoup plus importants qu'à une maille plus épaisse. Pour atténuer ce biais, une possibilité peut être de fixer un seuil maximal (*cap*) pour le choc ajusté, voir un corridor (*cap + floor*) pour encadrer ces valeurs.

En outre, bien que l'intégration du critère de dispersion au sein du processus d'optimisation d'allocation n'ait pas eu d'incidence significative sur les portefeuilles étudiés, l'analyse des chocs menée sur les cinq portefeuilles témoins permet d'avancer que la dispersion des notations peut être intégrée comme paramètre clé au sein du calcul d'un choc actions ajusté.

Au-delà de ces observations, l'analyse de ces résultats fait émerger plusieurs points à considérer lors de l'intégration des enjeux extra-financiers au sein du choc actions :

- La (ou les) notations ESG utilisées :  
Dans ce chapitre, le choc actions ajusté à la note ESG a été calibré avec les notes ESG Sustainalytics. Néanmoins, si cette notation n'est pas utilisée par toutes les entreprises d'assurance et de réassurance ; la principale problématique porte sur le fait que les notations ESG sont disparates entre les fournisseurs de données (*cf* 1.1).  
Ainsi, il serait intéressant de multiplier la stratégie proposée dans ce chapitre, avec d'autres notations ESG.  
Finalement, il s'agira alors pour l'EIOPA, de définir une notation de référence, ou bien de calculer une notation propre à la norme à partir de différents fournisseurs de données - en prenant en compte la disparité des notations. Le parallèle peut être fait avec la notation de crédit, où la méthode du *Second-Best* est utilisée par la norme Solvabilité 2.
- La catégorisation des actifs ESG :  
Ce chapitre a mis en évidence l'impact des regroupements de notes sur les chocs actions ajustés à la notation ESG. Aussi, l'enjeu serait de définir un regroupement commun, permettant de qualifier objectivement un investissement de « vert » ou de « brun ».

Finalement, selon la méthodologie adoptée, ces résultats illustrent que moins choquer les actifs verts pourrait pousser l'investisseur non seulement à moduler son portefeuille afin d'améliorer sa note ESG globale, mais potentiellement à améliorer la notation ESG de chacun des actifs du portefeuille (voire, n'intégrer dans ses portefeuilles que des actifs avec de bonnes notations). Selon la marche à suivre qui sera adoptée, le régulateur sera ainsi en mesure d'influencer les allocations des investisseurs institutionnels sur ces aspects extra-financiers.



# Conclusion

Depuis plusieurs années, les investissements durables représentent un secteur porteur. Poussés par de nombreux textes, les investisseurs sont appelés à « *aligner leurs flux financiers avec un profil d'évolution vers un développement à faible émission de gaz à effet de serre et résilient aux changements climatiques* »<sup>11</sup>.

Si le contexte européen s'est largement développé à la suite des Accords de Paris, le cadre réglementaire spécifique à l'assurance a été complété afin d'inclure les risques de durabilité dans les décisions d'investissements. La norme Solvabilité 2 a notamment déjà intégré la notion de risques de durabilité dans le Pilier 2 et l'EIOPA a été mandatée afin d'étudier une possible intégration de ces risques dans le Pilier 1.

Dans ce contexte, les assureurs sont amenés à intégrer les enjeux extra-financiers au sein de leurs stratégies d'investissements, ce que propose d'étudier ce mémoire pour le portefeuille actions d'un assureur. Une adaptation de la fonction d'utilité de Markowitz est ainsi présentée (celle-ci pouvant être modulée selon l'intérêt que l'investisseur porte aux enjeux ESG), et prenant comme argument la notation ESG moyenne du portefeuille, potentiellement ajustée de la dispersion des notations des actifs les moins bien notés. Il est mis en exergue que si l'intégration de ces enjeux au sein de la fonction d'utilité améliore la note ESG du portefeuille optimal, elle entraîne également l'augmentation de la volatilité de celui-ci, laissant ainsi un arbitrage à effectuer à l'investisseur entre le risque financier et le risque extra-financier.

Finalement, une approche a été proposée afin d'intégrer les enjeux extra-financiers dans le choc actions Solvabilité 2. L'étude menée avance que l'amélioration de la notation ESG impacte le risque financier à la baisse, justifiant un ajustement du choc actions selon la notation ESG des actifs composant le portefeuille. Néanmoins, les variables d'ajustement sont nombreuses et doivent être déterminées par le régulateur, afin d'atténuer les biais auxquels il s'exposerait selon l'approche adoptée.

A travers l'évolution attendue de la norme Solvabilité 2 sur l'intégration au sein du Pilier 1 des enjeux extra-financiers, le régulateur pourra inciter les investisseurs institutionnels à allouer plus ou moins d'importance à ces problématiques. Au regard des deux approches introduites dans le Chapitre 3, le régulateur peut par exemple opter pour une

---

11. Cf 2.1.1

approche basée sur la notation moyenne du portefeuille, ou bien sur un indicateur incluant la dispersion des notations individuelles de chaque actif, intégrant alors le concept de « non-compensation » entre les contributions marginales de chaque actif à la notation moyenne du portefeuille.

Plus généralement, à travers un ajustement de la méthodologie de calcul du SCR pour constituer un SCR « vert », l'EIOPA aurait non seulement la main sur l'importance que devront accorder les investisseurs institutionnels aux enjeux extra-financiers, mais aussi sur lesquels de ces critères font vraiment sens, sans pour autant reléguer les problématiques de performance et de risque au second plan.

# Bibliographie

- [1] Wallace Broecker. Changement climatique : sommes-nous au bord d'un réchauffement planétaire prononcé? *Science*, 1975.
- [2] Global Sustainable Investment Alliance. Global sustainable investment review 2020. 2020.
- [3] Sustainalytics. The esg risk rating : Frequently asked questions - for companies. (August), 2020.
- [4] Whelan Tensie, Atz Ulrich, Holt Tracy Van, and Clark CFA Casey. Esg and financial performance : Uncovering the relationship by aggregating evidence from 1,000 plus studies published between 2015 – 2020. 2020.
- [5] M. S. Fernández, A. Abu-Alkheil, and G. M. Khartabiel. Do german green mutual funds perform better than their peers? *Business and Economics Research Journal*, 2019.
- [6] J. Wu, G. Lodorfos, A. Dean, and G. Gioulmpaxiotis. The market performance of socially responsible investment during periods of the economic cycle—illustrated using the case of ftse. *Managerial and Decision Economics*, 2017.
- [7] L. Renneboog, J. Ter Horst, and C. Zhang. Socially responsible investments : Institutional aspects, performance, and investor behavior. *Journal of Banking and Finance*, 2008.
- [8] H. Naffa and M. Fain. A factor approach to the performance of esg leaders and laggards. *Finance Research Letters*, 2021.
- [9] Mozaffar Khan, George Serafeim, and Aaron Yoon. Corporate sustainability : First evidence on materiality. *The accounting review*, 2016.
- [10] Gunnar Friede, Timo Busch, and Alexander Bassen. Esg and financial performance : aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 2015.
- [11] S. Fitzgibbons Pedersen, L. H. and K. Pomorski. Plan d'action : financer la croissance durable. *Journal of Financial Economics*.
- [12] Observatoire de la responsabilité sociétale des entreprises and PWC. Guide de la finance durable - secteur assurance. 2022.
- [13] EIOPA. Eiopa's technical advice on the integration of sustainability risks and factors in the delegated acts under solvency ii and idd. 2019.

- 
- [14] EIOPA. Opinion on sustainability within solvency ii. 2019.
- [15] Véronique Le Sourd and Lionel Martellini. The edhec european etf, smart beta and factor investing survey. *EDHEC-Risk Institute*, (September), 2020.
- [16] William Sharpe. Mutual fund performance. *Journal of Business*, (Janvier), 1966.
- [17] F.A. Sortino and L.N. Price. Performance measurement in a downside risk framework. *The Journal of Investing Fall*.
- [18] Richard O. Michaud. The markowitz optimization enigma : Is 'optimized' optimal? *Financial Analysts Journal*.
- [19] Roncalli & al. Regularization of portfolio allocation. 2016.
- [20] Maximilian Wimmer et Ralph E Steuer Sebastian Utz. Tri-criterion modeling for constructing more-sustainable mutual funds. *Operations Research*.
- [21] Ana Garcia-Bernabeu et al. Computing the mean-variance-sustainability nondominated surface by ev-moga. *Complexity*.
- [22] Is esg making your portfolio too risky? 2019.
- [23] Commission Européenne. Responsible investing : The esg-efficient frontier. 2018.
- [24] S. Mekkaoui B. Tessiaut and C. Toulza. Ratings esg d'un portefeuille actions : quelle importance accorder à la dispersion des notations? 2022.
- [25] PORTAIT Patrice, PONCET et Roland. La théorie moderne du portefeuille : théorie et applications. 2009.
- [26] Marie-Laure Cabon-Dhersin. *Economie du risque et de l'assurance*. Université de Rouen, 2021.
- [27] Haykel Hamdi. Théorie des options et fonctions d'utilité : stratégies de couverture en présence des fluctuations non gaussiennes. Mars 2011.
- [28] Tristan Sydor. La value at risk. 2007.
- [29] Xu Wang and Yusheng XU. An improved index for clustering validation based on silhouette index and calinski-harabasz index. 2019.
- [30] Gareth James, Daniela Witten, Trevor Hastie, and Robert Tibshirani. An introduction to statistical learning with applications in r. 2021.

# Table des figures

1	Répartition des notations selon les notes E, S et G . . . . .	vii
2	VaR, CVaR et Max Drawdown par catégorie Sustainalytics . . . . .	vii
3	Choc action ajusté à la note ESG (en %) par catégorie Sustainalytics . . .	viii
4	Choc actions des 5 portefeuilles témoins . . . . .	viii
5	Distribution of ratings according to E, S & G scores . . . . .	xii
6	VaR, CVaR and Max Drawdown by Sustainalytics categories . . . . .	xii
7	ESG-adjusted equity shock (in %) by Sustainalytics category . . . . .	xii
8	Equity shock of 5 mock portfolios . . . . .	xiii
1.1	Volume d'investissements durables au niveau mondial . . . . .	6
1.2	Exemple de critères ESG par pilier . . . . .	8
1.3	Système de notation ESG . . . . .	9
1.4	Evolution des stratégies d'investissement durable . . . . .	15
2.1	6 objectifs environnementaux de la Taxonomie . . . . .	21
2.2	Calendrier de mise en application de la <i>SFDR</i> . . . . .	23
2.3	Calendrier de mise en application de la <i>CSDR</i> . . . . .	24
2.4	5 thématiques de la DPEF . . . . .	25
2.5	Piliers de la Solvabilité 2 . . . . .	27
2.6	Bilan simplifié Solvabilité 2 . . . . .	28
2.7	Modules de risque du SCR . . . . .	29
2.8	Calendrier de révision de la Solvabilité 2 . . . . .	33
3.1	Frontière efficiente du portefeuille . . . . .	45
3.2	% de la note ESG considéré dans la fonction d'utilité en fonction du profil d'intérêt aux enjeux ESG de l'investisseur . . . . .	50
3.3	Valeur du <i>green appetite</i> en fonction du profil ESG de l'investisseur et de la note ESG du portefeuille . . . . .	50
3.4	Corrélations entre les actifs . . . . .	52
3.5	Performance cumulée et rendements journaliers des actifs du portefeuille .	53
3.6	Répartiton des notations ESG du portefeuille . . . . .	54
3.7	Frontière efficiente de Markowitz . . . . .	55
3.8	Frontière efficiente de Markowitz pour un nombre d'actifs en portefeuille $N = 5, 10, 20, 30$ et $50\ 000$ portefeuilles simulés . . . . .	57

3.9	Frontière efficiente de Markowitz avec contraintes de poids plus restrictives et 50 000 portefeuilles simulés . . . . .	57
3.10	Frontières efficientes intégrant les enjeux ESG pour un profil d'intérêt à l'ESG entre 1 et 10 . . . . .	58
3.11	Répartition des notes ESG selon le portefeuille . . . . .	62
4.1	Distribution des rendements annuels du MSCI World . . . . .	72
4.2	Répartition géographique du Stoxx Europe 600 au 31 octobre 2022 . . . . .	74
4.3	Répartition des notes ESG au 31 octobre 2022 . . . . .	75
4.4	<i>Value at Risk</i> à 1 jour de l'action Carrefour . . . . .	76
4.5	<i>Value at Risk</i> paramétrique à 1 jour de l'action Carrefour . . . . .	77
4.6	<i>Conditionnal Value at Risk</i> à 1 jour de l'action Carrefour . . . . .	78
4.7	Max Drawdown de l'action Carrefour sur un historique de 10 ans . . . . .	79
4.8	Répartition des notations ESG du Stoxx Europe 600 selon les catégories Sustainalytics . . . . .	80
4.9	Indicateurs étudiés afin de déterminer le nombre de classes optimal . . . . .	82
4.10	Répartition des notes ESG par classe . . . . .	83
4.11	Répartition des notes E, S et G du Stoxx Europe 600 . . . . .	83
4.12	Indicateurs étudiés afin de déterminer le nombre de classes optimal . . . . .	84
4.13	Répartition des notations du Stoxx Europe 600 en 3 dimensions selon les <i>clusters</i> définis . . . . .	85
4.14	Distribution de la VaR, de la CVaR et du Max Drawdown . . . . .	87
4.15	VaR, CVaR et Max Drawdown par catégorie Sustainalytics . . . . .	88
4.16	VaR, CVaR et Max Drawdown par classe . . . . .	90
4.17	VaR, CVaR et Max Drawdown par <i>cluster</i> . . . . .	91
4.18	Répartition des notes ESG . . . . .	95
4.19	Répartition des notes ESG des portefeuilles selon les différents regroupements . . . . .	98
4.20	Choc actions des 5 portefeuilles témoins . . . . .	98

# Liste des tableaux

1	Volatilité, note ESG et ratio de Sharpe pour un rendement équivalent au rendement du portefeuille optimal initial . . . . .	v
2	Volatility, ESG score and Sharpe ratio for return equivalent to the initial optimal portfolio . . . . .	x
1.1	Corrélations entre différentes notations ESG . . . . .	11
3.1	Titres du portefeuille . . . . .	51
3.2	Volatilités annuelle des actifs du portefeuille . . . . .	54
3.3	Métriques du portefeuille à volatilité minimale pour un profil d'intérêt aux enjeux ESG entre 1 et 10 . . . . .	59
3.4	Métriques du portefeuille à note ESG minimale pour un profil d'intérêt aux enjeux ESG entre 1 et 10 . . . . .	60
3.5	Volatilité, note ESG et ratio de Sharpe pour un rendement équivalent au rendement du portefeuille optimal initial . . . . .	61
3.6	Volatilité, note ESG et dispersion pour un rendement équivalent au rendement du portefeuille optimal initial . . . . .	65
3.7	Différence entre les métriques des portefeuille optimisés en intégrant la dispersion dans la fonction d'utilité et sans prendre en compte ce biais. . .	66
4.1	Indicateurs statistiques des indices MSCI . . . . .	73
4.2	Centroïdes des <i>clusters</i> . . . . .	85
4.3	Moments d'ordre 3 et 4 de la VaR, de la CVaR et du Max Drawdown . . .	87
4.4	Mesure de risque (en %) par catégorie Sustainalytics . . . . .	88
4.5	Mesure de risque (en %) par classe (1 dimension) . . . . .	89
4.6	Mesure de risque (en %) par <i>cluster</i> (3 dimensions) . . . . .	91
4.7	Choc action ajusté à la note ESG (en %) par classe (1 dimension) . . . . .	93
4.8	Choc action ajusté à la note ESG (en %) par <i>cluster</i> (3 dimensions) . . .	93
4.9	Choc action ajusté à la note ESG (en %) par catégorie Sustainalytics . . .	93
4.10	Chocs actions globaux calculés avec les chocs actions ajustés à la note ESG calibrés selon le regroupement en 1 dimension, le regroupement en 3 dimensions ainsi que les catégories ESG Sustainalytics. . . . .	96

4.11	Chocs actions globaux calculés avec les chocs actions ajustés à la note ESG pour le portefeuille optimal intégrant les enjeux ESG et la notion de dispersion des notes . . . . .	97
12	Répartition en % des actifs selon les regroupements 1 dimension et 3 dimensions . . . . .	115

# Liste des symboles

*ACPR* Autorité de contrôle prudentiel et de résolution

*AMSB* Administrative, Management or Supervisory Body

*COP* Conference of the Parties

*CSRD* Corporate Sustainability Reporting Directive

*EIOPA* European Insurance and Occupational Pensions Authority

*ESG* Environnement, Social, Gouvernance

*ESMA* European Securities and Markets Authority

*GIEC* Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

*IDD* Insurance Distribution Directive

*ISR* Investissement Socialement Responsable

*MCR* Minimum Capital Requirement

*NFRD* Non Financial Reporting Directive

*ONU* Organisation des Nations Unies

*QIS5* Quantitative Impact Study n°5

*RSE* Responsabilité Sociétale des Entreprises

*SCR* Solvency Capital Requirement

*SFDR* Sustainable Finance Disclosure Regulation

*UNPRI* United Nations Principles for Responsible Investments

*CEIOPS* Committee of European Insurance and Occupational Pension Supervisors

*CVaR* Conditionnal Value-at-Risk

*VaR* Value-at-Risk

# Annexes

## Optimisation du portefeuille à variance minimale

Le portefeuille à variance minimale est défini comme le portefeuille dont les pondérations minimisent la variance.

Ce problème de minimisation est formulé de la manière suivante :

$$(P_{VM}) \begin{cases} \min_{\omega \in \mathbb{R}^n} \omega^T \Sigma \omega \\ \text{sous contrainte que } \omega^T e = 1 \end{cases}$$

où  $e$  est le vecteur unitaire.

Les problèmes d'optimisation peuvent être résolus grâce à la **méthode du Lagrangien** qui permet de trouver les extremums d'une fonction sous contrainte.

Soient  $f, g : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$  deux fonctions régulières. Les extremums de  $f(x, y)$  sous la contrainte que  $g(x, y) = 0$  sont recherchés, avec  $x, y \in \mathbb{R}$ .

Le Lagrangien du problème d'optimisation est le suivant :

$$\mathcal{L}(x, y, \lambda) = f(x, y) - \lambda g(x, y)$$

Conditions nécessaires du 1er ordre :

Les points critiques  $(x^*, y^*, \lambda^*)$  de la fonction sont les solutions de :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x}(x, y, \lambda) &= 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial y}(x, y, \lambda) &= 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda}(x, y, \lambda) &= 0 \text{ i.e. } g(x, y) = 0 \end{aligned}$$

Conditions nécessaires du 2nd ordre :

Soit  $H$  la matrice Hessienne de  $\mathcal{L}$  au point  $(x^*, y^*, \lambda^*)$  définie comme :

$$H = \begin{pmatrix} a & c \\ c & b \end{pmatrix}$$

avec :

$$a = \frac{\partial^2 \mathcal{L}}{\partial x^2}(x^*, y^*, \lambda^*), \quad b = \frac{\partial^2 \mathcal{L}}{\partial y^2}(x^*, y^*, \lambda^*), \quad c = \frac{\partial^2 \mathcal{L}}{\partial x \partial y}(x^*, y^*, \lambda^*) \quad (1)$$

Si le déterminant et la trace de  $H$  sont positifs, alors les valeurs propres de  $H$  sont positives et le point  $(x^*, y^*)$  est un minimum local de  $f(x, y)$  sous la contrainte  $g(x, y) = 0$ .

NB : Le problème se généralise à  $p$  contraintes  $g_i(x) = 0, i \in \llbracket 1, p \rrbracket$  :

$$\mathcal{L}(x, \lambda_1, \dots, \lambda_p) = f(x) - \sum_{i=1}^p \lambda_i g_i(x)$$

Résolvons le problème ( $P_{VM}$ ).

Le Lagrangien s'écrit :

$$\mathcal{L}(x, \lambda) = \omega^T \Sigma \omega - \lambda(\omega^T e - 1)$$

Les conditions nécessaires du 1er ordre sont :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \omega}(\omega, \lambda) &= 2\Sigma\omega - \lambda e = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda}(\omega, \lambda) &= 1 - \omega^T e = 0 \end{aligned}$$

Ainsi, on trouve que :  $\lambda = \frac{2}{e^T \Sigma^{-1} e}$   
L'allocation optimale  $\omega^*$  est ainsi :

$$\omega = \frac{\Sigma^{-1} e}{e^T \Sigma^{-1} e}$$

Dont la variance associée  $\sigma^{2*}$  est :

$$\sigma^{2*} = \frac{1}{e^T \Sigma^{-1} e}$$

## Optimisation du modèle de Markowitz

Le problème d'optimisation du modèle de Markowitz est formulé comme :

$$(P) \begin{cases} \min_{\omega \in \mathbb{R}^n} \omega^T \Sigma \omega \\ \text{sous contraintes que } \omega^T e = 1 \text{ et } R = \omega^T M \end{cases}$$

Le Lagrangien de ce problème s'écrit :

$$\mathcal{L}(\omega, \lambda_1, \lambda_2) = \omega^T \Sigma \omega - \lambda_1 (\omega^T M - R) - \lambda_2 (\omega^T e - 1)$$

Les conditions nécessaires du 1er ordre sont :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \omega}(\omega, \lambda_1, \lambda_2) = 2\Sigma\omega - \lambda_1 M - \lambda_2 e = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_1}(\omega, \lambda_1, \lambda_2) = R - \omega^T M = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_2}(\omega, \lambda_1, \lambda_2) = 1 - \omega^T e = 0 \quad (4)$$

L'équation (1) permet de déduire la valeur de  $\omega$  :

$$\omega = \frac{1}{2}(\lambda_1 \Sigma^{-1} M + \lambda_2 \Sigma^{-1} e) \quad (5)$$

En remplaçant  $\omega$  dans (2) et (3), on obtient un système linéaire, d'inconnues  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  :

$$\begin{cases} R = \frac{1}{2}(\lambda_1 b + \lambda_2 a) \\ 1 = \frac{1}{2}(\lambda_1 a + \lambda_2 c) \end{cases}$$

avec :  $a = e^T \Sigma^{-1} M$ ,  $b = M^T \Sigma^{-1} M$ ,  $c = e^T \Sigma^{-1} e$ .

La solution de ce système est :

$$\begin{cases} \lambda_1 = \frac{2(cR-a)}{d} \\ \lambda_2 = \frac{2(b-aR)}{d} \end{cases}$$

où  $d = bc - a^2$ .

En remplaçant les valeurs de  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  dans (4), on obtient l'allocation optimale  $\omega^*$  :

$$\omega^* = \frac{1}{d} ((cR - a)\Sigma^{-1} M + (b - aR)\Sigma^{-1} e)$$

Dont on peut calculer la variance  $\sigma^*$  :

$$\sigma^* = \frac{1}{d} (cR^2 - 2aR + b)$$

## Comparaison des regroupements 1 dimension et 3 dimensions

La valeur ajoutée de la vision 3D par rapport à la vision 1D peut être soulignée au regard de la répartition des actifs composant l'indice de référence selon ces deux méthodologies de regroupement, qui ne vérifie pas de schéma spécifique, ce qui sous-tend que l'approche considérant chacun des risques E, S et G n'est pas équivalente à l'approche agrégée du risque ESG.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9	Classe 10	Classe 11
<b>Cluster 1</b>	0	0.027027	0.033333	0.057692	0.282609	0.35	0.4	0.46875	0.566667	0.6	0.75
<b>Cluster 2</b>	0	0.000000	0.000000	0.134615	0.391304	0.50	0.6	0.53125	0.433333	0.4	0.25
<b>Cluster 3</b>	1	0.972973	0.966667	0.807692	0.326087	0.15	0.0	0.00000	0.000000	0.0	0.00

TABLE 12 – Répartition en % des actifs selon les regroupements 1 dimension et 3 dimensions

Par exemple, les actifs composant la classe 5 sont catégorisés dans les *clusters* 1, 2 et 3, appuyant le fait que le regroupement selon les notes E, S, G précise la catégorisation des actifs.